



L'OZONE

L'OZONE

OU

RECHERCHES CHIMIQUES, MÉTÉOROLOGIQUES

PHYSIOLOGIQUES ET MÉDICALES

SUR

L'OXYGÈNE ÉLECTRISÉ

PAR

H. SCOUTETTEN

Professeur en médecine, Médecin-chef de l'Hôpital militaire de Metz, Officier de la Légion-d'Honneur, Commandeur de l'ordre impérial du Sultan Abdul-Medjid, Membre des Académies et Sociétés savantes de Paris, Berlin, Copenhague, Gênes, Londres, Toulouse, Metz, Lille, Wurtzbourg, Lyon, Marseille, etc., etc.

PARIS

LIBRAIRIE DE VICTOR MASSON
Place de l'École de Médecine

METZ

LIBRAIRIE DE M. ALCAN, IMPRIMEUR-ÉDITEUR
Rue de la Cathédrale, 1

1856



IMPRIMERIE M. ALCAN
Rue de la Cathédrale, 1, à Metz

A MONSIEUR

C. F. SCHÖNBEIN

PROFESSEUR DE CHIMIE A BALE.

Voici le premier ouvrage sur l'Ozone; il était juste qu'il vous fût dédié.

Recevez cet hommage comme tribut d'admiration pour vos nombreux et utiles travaux.

SCOUTETTEN.

AVANT-PROPOS

Un mot n'a de valeur que par l'idée qu'il exprime ; avant de l'adopter, on veut en comprendre la signification et la nécessité.

En voyant apparaître le mot *Ozone*, les savants se sont demandé : *Qu'est-ce que l'Ozone?*

Pour M. Schœnbein, inventeur de l'expression, l'Ozone fut d'abord un principe odorant, émanant

d'un corps simple, élémentaire; plus tard, il le considéra comme un composé d'oxygène et d'hydrogène; puis vinrent les belles recherches de MM. Marignac et de la Rive, Fremy et Ed. Becquerel, qui constatèrent que l'Ozone est de l'oxygène électrisé.

Cette démonstration ne leva pas toutes les incertitudes; on voulût savoir si l'Ozone est un corps possédant des propriétés spéciales, produisant des effets particuliers; ou, s'il ne représente qu'un état passager de l'oxygène, une forme *allotropique*, comme disent les chimistes, qui modifie les caractères apparents sans changer la nature réelle. C'est à cette dernière pensée qu'ils se sont généralement arrêtés; pour eux l'Ozone n'est qu'un effet de la réaction de l'électricité sur l'oxygéne dont il exalte les propriétés.

J'ai aussi, un instant, partagé cette pensée; mes recherches et l'étude approfondie des faits m'en éloignent aujourd'hui. Je considère l'Ozone comme un corps soumis, de même que toutes les combinai-

sons chimiques, à des conditions qui en favorisent la composition ou la décomposition, possédant des propriétés constantes qui servent à le distinguer de tous les autres agents; un corps produisant des effets variés, puissants, et qui, par la multiplicité des rôles qu'il joue dans la nature et par la grandeur des résultats, mérite une place distincte et tout exceptionnelle.

Des objections s'élèveront sans doute contre cette opinion; elles seront combattues, je l'espère, par des faits qui lui concilieront la faveur générale.

Jusqu'à ce jour l'Ozone a été particulièrement étudié au point de vue chimique, et il a fait naître des travaux d'une grande valeur. Il a aussi préoccupé les météorologistes et les médecins qui ont cherché à constater sa présence dans l'air atmosphérique et à découvrir son influence sur la production de plusieurs maladies. Mais, jetés dans les incertitudes par les anomalies apparentes de ce corps, ils l'ont considéré comme un agent capricieux dont

la présence ou l'absence ne méritait, en définitif, qu'une attention secondaire. L'ennui et le découragement ont promptement succédé à un moment d'enthousiasme, et, n'apercevant ni but, ni résultat, les investigateurs ont généralement abandonné leurs expériences.

La science en était à ce point, lorsque, tout-à-coup, les sources de l'Ozone furent découvertes. Entraîné par mes recherches, je poursuivis ce corps dans toutes ses manifestations, je le vis naître, grandir, et prendre une importance dont les limites ne sauraient être précisées.

Dès lors, à nos yeux l'Ozone n'est plus seulement un agent chimique, c'est l'instrument dont se sert la Providence pour produire les grands phénomènes de la nature; c'est lui qui préside aux lois de l'électricité atmosphérique, qui vient expliquer la formation des météores aqueux, les oscillations périodiques et diurnes du baromètre, les moyens de restitution, à l'atmosphère, de l'oxygène détruit par la respiration

des animaux, par les oxydations naturelles, la combustion du chauffage et des grandes industries métallurgiques.

La météorologie, cette science obscure que W. Herschell comparait à un roman rempli d'épisodes intéressants, s'éclaire d'une lumière inattendue; le globe apparait comme un immense laboratoire où s'opèrent de puissantes combinaisons dont les causes et les effets peuvent être compris et prévus, qui préparent et accomplissent les grandes perturbations de l'atmosphère. Dès lors on entrevoit le moment où se réalisera le désir exprimé par Son Excellence le Maréchal Vaillant, ministre de la guerre, à l'occasion de la terrible tempête qui éclata dans la mer Noire le 14 novembre 1854, causa la perte d'un nombre considérable de navires, et donna naissance à une immense enquête scientifique; le Maréchal écrivit en substance à M. Le Verrier: « Vous avez beau dire, il est impossible que, si on l'interroge avec soin, la science puisse rester muette

sur les causes et les caractères principaux d'un phénomène si remarquable par son intensité et son étendue, qui s'est fait sentir simultanément à Paris et à Balaklava. »

Non certes, la science ne restera pas indéfiniment muette; non, l'époque n'est pas éloignée où nous comprendrons la formation des grands météores, où il ne faudra plus qu'un peu d'attention pour en signaler les premiers développements, pour en mesurer l'étendue et les dangers et en prévenir, par la télégraphie électrique, les habitants des contrées les plus lointaines.

Si ces prévisions d'avenir peuvent faire craindre les entraînements de l'imagination à la pensée des merveilles du résultat, reportons-nous sur des études plus faciles et plus directes et reprenons l'Ozone dans ses rapports avec les animaux et les végétaux; là encore nous retrouverons ce corps exerçant sa puissance sur les êtres de la nature, excitant la vie, provoquant les maladies, déterminant la mort.

Nous verrons la chimie demander à l'Ozone le secret des combinaisons de l'oxygène naissant ; l'hygiène provoquer des expériences pour rendre salubres les lieux infectés par les miasmes ; la médecine chercher la cause des épidémies les plus redoutables et solliciter des remèdes efficaces contre les affections où elle est impuissante ; enfin l'agriculture entrevoir, dans les applications habiles de cet agent, la source d'améliorations qui doivent augmenter la force et accroître la richesse de nos produits agricoles.

Telle est l'appréciation rapide du rôle de l'Ozone ; nous y trouvons une manifestation nouvelle de la puissance infinie du Créateur des mondes qui, avec des atomes et des rouages d'une merveilleuse simplicité, produit des effets dont la grandeur majestueuse frappe l'imagination d'étonnement, élève le cœur et le remplit de la plus fervente admiration.

L'OZONE,

OU

RECHERCHES CHIMIQUES,

MÉTÉOROLOGIQUES,

PHYSIOLOGIQUES ET MÉDICALES

SUR

L'OXYGÈNE ÉLECTRISÉ.

L'étude de la météorologie exerce depuis de longues années la patience des physiciens et des médecins; elle leur a fait noter avec une exactitude rigoureuse les variations atmosphériques, les oscillations du baromètre, du thermomètre et de l'hygromètre; leurs observations ont tout embrassé : les quantités d'eaux tombées, la présence, la diminution ou l'absence de l'électricité de l'atmosphère.

Les chimistes ont déployé le même zèle; ils ont soumis l'air que nous respirons à de nombreuses analyses; ils l'ont puisé dans les profondeurs de la terre ou l'ont recueilli dans les régions élevées qui paraissent inaccessibles aux miasmes telluriques.

De toutes ces recherches qu'est-il résulté ? Les physiciens se déclarent inhabiles à prévoir les changements atmosphériques, à signaler à l'avance le beau ou le mau-

vais temps. Les médecins ne sont pas plus heureux dans leurs prévisions concernant les constitutions médicales, le retour ou la disparution des maladies épidémiques.

Les chimistes sont impuissants à découvrir les miasmes répandus dans l'air, et soit que celui-ci provienne de bas-fonds infects ou qu'il ait été pris à une hauteur de plus de 7 000 mètres (ascension de Gay-Lussac), les analyses les plus rigoureuses constatent que sa composition apparente est constamment de 79 parties d'azote, de 21 d'oxygène et de quelques traces accidentelles d'acide carbonique, d'ammoniaque et peut-être d'iode.

Tel était et tel est encore l'état de la science, mais une découverte récente semble nous ouvrir une voie nouvelle et ranimer des espérances trop longtemps déçues.

HISTORIQUE DE LA DÉCOUVERTE DE L'OZONE;
Travaux scientifiques qui la concernent.

Il y a dix-sept ans environ, un chimiste distingué, M. Shœnbein, professeur à Bâle, l'inventeur de la poudre coton ([1]) se livrant à des essais sur la décomposition de l'eau par la pile voltaïque, fut frappé de l'odeur que le fluide gazeux manifestait. Cherchant à se rendre compte de ce phénomène, il fit une série d'expériences dont il publia les premiers résultats dans les Mémoires de l'Académie de Munich. Ceci se passait en 1839.

L'année suivante, en 1840, M. Schœnbein écrivit une lettre à M. Arago pour lui faire connaître les résultats obtenus par les recherches entreprises dans le but de jeter quelque jour sur la nature de l'odeur nommée *Electrique.*

« Depuis quelques années, dit-il, j'étais frappé d'une « analogie parfaite qui existe entre l'odeur qui se déve- « loppe lorsque l'électricité ordinaire passe des pointes « d'un conducteur à l'air environnant, et celle qui se « dégage quand l'eau est décomposée par un courant « voltaïque.

([1]) Découverte parfaitement préparée cependant par les travaux de Braconnot et de M. Pelouze.

« Après avoir fait beaucoup d'expériences inutiles pour « découvrir la liaison qui existe entre les deux phénomènes « indiqués, je suis enfin arrivé, non pas à la solution « complète du problème, mais à un point d'où l'on peut « assez distinctement entrevoir la véritable cause de l'odeur « électrique. (1) »

Après avoir rapporté la série d'expériences qu'il avait faites, il arrive à conclure que le principe odorant qu'il signale *doit être classé dans le genre de corps auquel appartiennent le chlore et le brome, c'est-à-dire dans les substances élémentaires et hologènes, et propose de lui donner le nom de Ozone.*

Ainsi, à cette époque, M. Schœnbein admettait que ce principe odorant tient à un corps simple, élémentaire, et il le nomme Ozone, du mot οζον, participe présent du verbe οζω, je sens.

Alors, M. Schœnbein n'avait pas encore constaté la présence de l'Ozone dans l'atmosphère, mais il se proposait de faire, pendant cette année 1840, une série d'expériences pour mettre en évidence le fait qu'il soupçonnait et dont il avait à l'avance l'intime conviction.

L'observation signalée par M. Schœnbein avait déjà été

(1) **Recherches sur la nature de l'odeur qui se manifeste dans certaines actions chimiques.** Lettre de M. Schœnbein à M. Arago. — *Compte-rendu de l'Académie des sciences*, 1840, page 706. — Séance du 27 Avril.

indiquée par Van Marum, qui publia ses remarques vers la fin du XVIIIe siècle. Il rapporte, au commencement de son ouvrage [1], les résultats des expériences faites en excitant, dans un tube plein d'oxygène, une succession d'étincelles de 5 1/2 pouces de long : chaque expérience était limitée à un quart d'heure, c'est-à-dire au passage de près de 5000 étincelles, puisqu'il en passait cinq ou six par seconde. L'oxygène placé sur l'eau simple, sur l'eau de chaux, sur la teinture de tournesol, n'éprouvait aucun effet lors de l'électrisation, *mais seulement*, dit Van Marum, *en transvasant cet air, nous remarquâmes qu'il avait pris une odeur très-forte, qui nous parut être très-clairement l'odeur de la matière électrique.*

Ces faits étaient oubliés depuis longtemps, lorsque M. Schœnbein rappela l'attention sur leur manifestation. Depuis lors il a poursuivi avec ardeur la découverte qu'il avait faite, et il a publié, sur ce sujet, un nombre considérable de notes et de mémoires qui ont été insérés dans les recueils scientifiques de la Suisse, de l'Allemagne, de l'Italie et de la France.

Les premiers travaux, concernant l'Ozone, furent insérés dans les *Mémoires de la Société d'Histoire naturelle de Bâle*, puis reproduits avec plus d'extension dans le *Journal de Chimie pratique* de Erdmann, dans les *Annales de Poggendorff* et dans les *Archives de l'élec-*

[1] Van Marum, tome I, page 112. Traduction française, 1785.

tricité de Marignac et de la Rive. (Tome IV, page 333, et tome V, pages 11 et 337. — Genève 1845.)

En 1850, M. Schœnbein lut à la Société de médecine de Bâle un mémoire *sur les effets indirects de l'électricité,* travail reproduit en entier dans le journal de Henle. En 1854 cet auteur fit paraître, dans les *Annales* de Liebig, ses *Recherches sur les diverses conditions de l'oxygène,* travail dans lequel on trouve amplement développé tout ce qui, jusqu'alors, avait été dit sur l'Ozone. Ses travaux les plus récents sur cette matière ont été publiés dans la dernière livraison du journal de Erdmann et dans les *Archives* de Nierordt; c'est là que se trouvent consignés les faits qui se rattachent spécialement aux études physiologiques.

En dehors de ces travaux originaux, il faut encore indiquer une note remise à M. Becquerel et lue par ce dernier à l'Académie des Sciences de France dans la séance du 14 janvier 1850 (*Compt.-rend. de l'Acad.*, tom. XXX, pag. 13); un mémoire publié dans le journal l'*Union médicale* (1) (tom. 7, pag. 69 et 81, 1853), mémoire qui n'est évidemmment qu'une traduction arrangée pour des lecteurs français; enfin une foule de notes insérées dans les recueils scientifiques d'Allemagne (2).

(1) **Recherches sur quelques effets physiologiques secondaires produits par l'électricité atmosphérique; par** Schoenbein.

(2) **L'Ozone n'est pas de l'acide nitreux; par** Schoenbein.

Les recherches et les publications de M. Schœnbein

(Annalen der Physik und Chemie, tome LXIII, page 520). — **Sur la nature de l'Ozone**, par le même. (*Ibid.* t. LXV, p. 60). — **Note sur la présence de l'Ozone dans l'air atmosphérique, et le rôle qu'il pourrait jouer dans les oxydations lentes**; par le même. (*Ibid.* tome LXV, page 102.) — **Sur l'Ozone comparé au chlore**; par le même. (*Ibid.* tome LXV, page 178.) — **Note explicative sur l'opinion de M. Fischer, concernant l'Ozone**; par le même. (*Ibid.* tome LXV, page 190.) — **De l'action de l'Ozone sur les substances organiques**; par le même. (*Ibid.* tome LXV, page 196.) — **Note sur l'Iodure de Potassium envisagé comme réactif de l'Ozone**; par le même. (*Journal für prak. Chemie,* t. XXXIV, p. 42.) — **Sur un nouveau principe propre au blanchîment produit par la combustion lente de l'éther dans l'air atmosphérique, et par la combustion rapide du corps dans un jet de gaz hydrogène**; par le même. (*Philosophical Magazine*, 3e série, tome XXVI, page 255.) — **Préparation du cyanure rouge de potassium par l'Ozone**; par le même. (*Ibid.* 3e série, tome XXVII, page 384.) — **Note sur la nature de l'Ozone (l'Ozone n'est pas de l'Oxygène dans un état particulier)**; par le même. (*Ibid.* 3e série, t. XXVII, p. 386.) — **Discussion sur l'Ozone**; par le même. (*Comptes-rendus des séances du Congrès scientifique de Milan*, 1845, *partie chimique.*) — **Sur la nature de l'Ozone**; par le même. (*Annalen der Physik und Chemie*, t. LXVII, p. 78.) — **Production particulière du ferricyanide de potassium**; par le même. (*Ibid.* tome LXVII, pages 83 et 86.) — **De quelques effets chimiques du platine**; par le même. (*Ibid.* tome LXVII, page 233.) — **Influence de l'électricité, du platine et de l'argent sur la lumière du phosphore dans l'air atmosphérique**; par le même. (*Ibid.* tome LXVIII, page 37). — **Le peroxyde de plomb comparé avec l'Ozone**; par le même. (*Ibid.* tome LXVIII, page 162). — **Sur l'Ozone**; par le même (*Journal für prakt. Chemie*, tome LXI, page 321).

donnèrent bientôt naissance à une foule d'autres travaux. Il faut citer en première ligne les expériences de MM. de la Rive ([1]), Marignac ([2]), Osann ([3]), Williamson ([4]), et surtout le remarquable mémoire de MM. Fremy et Edm. Becquerel ([5]). On ne doit pas omettre les recherches de Baumertz (*Annales de Poggendorff,* tome LXXXIX, page 38); celles de Marchant et de Berzelius. (*Ibid.*, tome LXVII, page 142.) Toutes ces publications ont pour but spécial la composition chimique de l'Ozone.

L'Ozone atmosphérique a été l'objet d'études fort intéressantes : M. Schœnbein a ouvert la voie; plusieurs mémoires contiennent ses recherches; M. Langlois, l'un des premiers, les signala dans son discours sur la composition de l'air atmosphérique prononcé devant l'Académie des Sciences de Metz ([6]).

([1]) *Archives de l'électricité,* tome v, page 5, Genève.

([2]) **Sur la production et la nature de l'Ozone.** (*Annales de chimie et de physique.* 3e série, tome XIV, page 252, 1845.)

([3]) OSANN. (*Annalen der Physik und Chemie*, t. LXXVII, p. 502; et LXXVIII, page 98.)

([4]) WILLIAMSON. — **Quelques expériences sur l'Ozone.** (*Annalen der Chemie und Pharmacie*, tome LIV, page 127. — *Revue scientifique*, tome XXX, page 161, et *Annuaire de Chimie*, par MILLON et REISET, 1848, page 32.)

([5]) *Annales de Chimie et de Physique.* 3e série, t XXXV, p. 62, 1852.

([6]) *Mémoires de l'Académie impériale de Metz,* 1852, p. 20.

Le Professeur Wolff, de Berne, a publié des faits curieux dans les *Annales de Poggendorff,* (t. XCIII, p. 335) puis dans une notice adressée à l'Académie des Sciences de Paris (séance du 19 février 1855) (1), M. Ruselhuber a fait insérer ses remarques dans les *Mémoires de l'Académie de Vienne*, (t. XIV, p. 316).

Tout récemment M. Bérigny a lu, à l'Académie des Sciences de Paris, un mémoire dans lequel il recherche les relations existant entre la marche de l'Ozone atmosphérique et celle du baromètre, de la température, de la tension de la vapeur, de l'humidité relative de l'air et du degré de sérénité du ciel (2). M. Decharmes a publié quelques observations ozonométriques sous le point de vue de la salubrité de l'air (3). M. Simonin père, directeur honoraire de l'école de médecine de Nancy, recueille

(1) **Variations de l'Ozone considérées relativement aux variations dans l'état hygiénique du lieu d'observation.**

(2) *Comptes-rendus de l'Académie des sciences,* 10 septembre 1855, p. 426 (extrait). — Le travail complet est inséré dans les *Mémoires de médecine et de pharmacie militaires*, 3e série, 1855, tome XVI, p. 440. Il a pour titre : *Observations faites à Versailles avec le papier dit ozonométrique de Schœnbein, pendant le mois d'Août* 1855, 7 pages in-8° avec carte.

(3) **De l'Ozone et de l'importance des observations ozonométriques, relativement au degré de salubrité de l'air et de la marche des Epidémies,** Expériences faites en Octobre, Novembre et Décembre 1855, par C. Decharmes, professeur de mathématiques. In-8° de trois-quarts de feuille. Extrait de la *Picardie,* revue littéraire et scientifique.

depuis 1853 des observations ozonométriques qu'il consigne chaque année dans les Mémoires de l'académie de Stanislas et dont il publie séparément un extrait sous le titre de : *Résumé des observations météorologiques faites à Nancy*. Mais le travail le plus complet, le plus exact, le plus satisfaisant est donné chaque mois par le docteur Théodore Bœckel, de Strasbourg, qui le publie dans la *Gazette médicale* de cette ville ; il en fait faire des extraits intitulés : *Météorologie et constitution médicale*, qui, par leur réunion, forment déjà un petit volume. Les premières observations datent du mois d'avril 1853.

Il vient encore de paraître un résumé très-complet des expériences et des observations instituées par la Société de médecine de Kœnigsberg pour déterminer l'existence de l'Ozone dans l'air atmosphérique et ses rapports avec les maladies régnantes, par le docteur Schiefferdeker (1).

D'autres travaux se préparent, et parmi ceux-ci nous nous empresserons de citer la dissertation inaugurale de M. Bœckel fils, qu'il se propose de soutenir devant la faculté de médecine de Strasbourg, les recherches du docteur Seitz, professeur de policlinique à Munich et celles du docteur Pettenkoffer en ce qui touche l'épidémie de choléra qui a régné en Bavière.

(1) ***Bericht über die vom Verein für wissenschaftliche Heilkunde in Kœnigsberg, in Preussen angestelten Beobachtungen über der Ozongehalt der atmosphærischen Luft, und sein Verhältniss zu den herschenden Krankheiten,*** von W. Schieffердecker.

RECHERCHES SUR LA NATURE CHIMIQUE DE L'OZONE.

Au début des recherches, tout était incertitude sur la nature chimique de l'Ozone.

Déjà nous avons vu que M. Schœnbein croyait à l'existence d'un radical particulier, qu'il considéra comme un élément comparable au chlore, au brome, à l'Iode : il modifia plus tard ce sentiment et annonça que l'azote n'est pas un corps simple, qu'il en avait opéré la décomposition et qu'il l'avait trouvé formé d'hydrogène et d'un radical particulier qui est l'Ozone (*archives de l'électricité, tome* IV, *page* 333). Les principaux phénomènes attribués à ce radical ont fait supposer un moment qu'ils appartenaient réellement à un composé nitreux. Cette opinion fut partagée par M. Osann, qui fit voir qu'en faisant passer de l'air atmosphérique ozonisé naturellement à travers une dissolution potassique d'oxyde de plomb, il se forme un précipité jaune qu'on obtient également au moyen de l'air ozonisé par voie électrique, ce qui le conduisit à conclure à l'identité de l'Ozone chimique et de l'Ozone atmosphérique (1).

M. Williamson (2), s'appuyant sur une longue série

(1) Liebig. (*Annalen der Chemie und Physik*, t. LXXV, p. 386).

(2) *Revue scientifique*, tome XXX, page 161. — Millon et Reiset. (*Annuaire de Chimie*, page 35, 1848).

d'expériences, repousse l'opinion de M. Osann et déclare que la décomposition de l'Ozone fournit de l'eau et de l'oxygène, que c'est par conséquent un degré d'oxydation de l'hydrogène supérieur à l'eau.

Ce n'est pas évidemment le même corps, dit-il, qui prend naissance quand l'étincelle électrique agit sur l'air atmosphérique ; il se forme alors de l'acide nitreux, fait déjà observé par Davy ; ce serait donc à l'acide nitreux qu'il faudrait rapporter les effets de l'Ozone électrique produit par l'étincelle au contact de l'air, opinion déjà exprimée par M. Fischer.

M. Williamson, s'appuyant sur ses expériences, se résume en ces termes : 1° l'Ozone fourni par la pile consiste en suroxyde d'hydrogène ; 2° l'Ozone développé par l'étincelle électrique n'est autre qu'un acide nitreux ; 3° l'Ozone dû à l'action de l'air, sur le phosphore humide, se confond avec l'ozone électrolytique, et n'est aussi qu'un suroxyde d'hydrogène.

Mais déjà M. Schœnbein avait été conduit par ses expériences à repousser l'opinion que l'ozone est un composé nitreux, et à admettre que c'est un suroxyde d'hydrogène gazeux tout-à-fait différent de l'eau oxygénée.

Cette nouvelle opinion fut combattue par MM. Marignac et de La Rive.

Dans l'extrait d'une lettre adressée à M. le professeur Dumas, par M. Marignac on trouve le passage suivant : « J'ai tenté un grand nombre d'expériences dans le but de

« vérifier l'hypothèse de M. Schœnbein sur la nature élé-
« mentaire de l'Ozone et sur la nature composée de l'azote.
« Jusqu'ici, mes essais ne m'ont conduit qu'à un résultat
« négatif, en ce sens qu'ils prouvent que cette hypothèse
« ne peut être soutenue, mais ils ne me font entrevoir
« encore aucune explication probable. »

Après avoir décrit les expériences auxquelles il s'était livré, M. Marignac arrive à cette conclusion que « l'azote
« n'est pour rien dans la formation de l'Ozone. Il est clair,
« dit-il, que c'est à l'oxygène seul, ou à quelque composé
« particulier d'oxygène et d'hydrogène qu'on doit attribuer
« ce phénomène, mais de nouvelles expériences pourront
« seules décider cette question (1) ».

La lecture de cette lettre avait lieu le 10 mars 1845, et déjà le 28 avril de la même année, l'opinion de M. Marignac était modifiée, ainsi que cela résulte d'une note adressée à M. Arago par M. de La Rive. « M. Marignac a fait
« voir, dit-il, qu'on peut produire de l'Ozone sans azote, et
« il est arrivé à reconnaître que ce ne peut être ou qu'une
« combinaison particulière d'oxygène et d'hydrogène, ou
« que de l'oxygène dans un certain état. Cette dernière
« opinion, pour laquelle je penchais depuis longtemps, a
« été confirmée par l'expérience suivante que nous avons

(1) **Sur la production et la nature de l'ozone.** (*Comptes-rendus de l'Académie des sciences,* vol. xx, page 808, 1845 — et *Annuaire de Physique et de Chimie*, 3e série, t. xiv, p. 252, 1845.)

« faite ensemble. Nous avons fait passer à travers un tube « un courant d'oxygène parfaitement pur et parfaitement « desséché; puis, au moyen de deux pointes de platine, « nous avons transmis, à travers cet oxygène, une suc- « cession d'étincelles électriques provenant d'une machine « ordinaire. L'oxygène a aussitôt manifesté les propriétés « de l'Ozone, c'est-à-dire qu'il a acquis cette odeur péné- « trante et nauséabonde qui le caractérise, qu'il a bleui « fortement l'Iodure de potassium, etc. [1].

Déjà Berzelius avait émis l'opinion que l'Ozone n'était que de l'oxygène dans un état particulier (*ann. de Poggendorff*, t. LXVII, p. 142); mais ce sentiment avait été combattu par M. Schœnbein (*Journal für prakt. Chemie, tome* LI, *page* 321).

Telle était l'incertitude des esprits sur la nature chimique de l'ozone lorsque MM. E. Fremy et Edmond Becquerel firent paraître leur important travail ayant pour titre : *Recherches électro-chimiques sur les propriétés des corps électrisés* [2].

Avant ces auteurs, il avait été bien démontré par les travaux que nous avons cités que l'Ozone ne doit pas être

(1) Extrait d'une lettre de M. le Professeur de La Rive, de Genève, à M. Arago. (*Comptes-rendus des séances de l'Académie*, t. XX, page 1291. — 1845.)

(2) *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, tome XXXV, page 62. — 1852.

considéré comme un corps particulier élémentaire, ou comme une combinaison inconnue de deux éléments, puisqu'en électrisant de l'oxygène qui se dégage lentement du chlorate de potasse, préalablement fondu, et, par conséquent, anhydre, on obtient un gaz présentant la réaction de l'Ozone, c'est-à-dire, décomposant à froid l'iodure de potassium. Cependant il restait encore des doutes dans l'esprit de tous les chimistes; ils n'admettaient qu'avec hésitation cette modification allotropique de l'oxygène résultant de l'action de l'électricité, et donnant à ce corps de nouvelles propriétés permanentes et un pouvoir oxydant beaucoup plus énergique que lorsqu'il a été préparé par les méthodes ordinaires.

Ces incertitudes étaient justifiées, disent MM. Fremy et Becquerel, par les objections suivantes qui n'avaient pas encore été levées d'une manière satisfaisante.

1° Il est impossible de se prononcer sur la nature du gaz ozoné qui résulte de l'action de l'air humide sur le phosphore; il peut contenir des composés oxygénés encore inconnus du phosphore, de l'hydrogène ou de l'azote; les phénomènes d'oxydation qui ont été signalés peuvent être attribués à l'influence de ces différents corps.

2° L'oxygène provenant de la décomposition de l'eau par la pile, et qui présente tous les caractères de l'Ozone, peut être lui-même mélangé à des proportions très-faibles de composés oxydants, engendrés sous l'influence de l'électricité par l'action de l'oxygène naissant sur l'air tenu en

dissolution dans l'eau, ou sur l'acide ajouté au liquide, ou bien encore sur les éléments de l'eau elle-même.

3° Quant à l'oxygène sortant du chlorate de potasse en fusion, et qui s'ozonise par l'action des étincelles électriques, on ne peut déclarer avec certitude qu'il ne contient pas des traces de chlorure de potassium entraîné, ou d'un composé chloré inconnu, qui, par l'action de l'électricité, donnerait une quantité de chlore suffisante pour bleuir légèrement un papier contenant à la fois de l'amidon et de l'iodure de potassium.

4° Les réactions qui se manifestent toutes les fois que l'étincelle électrique traverse l'air atmosphérique peuvent être attribuées à l'influence d'un composé oxygéné de l'azote, se formant au moment du passage de l'étincelle.

Pour lever toutes les incertitudes à ce sujet, MM. Fremy et Becquerel ont pensé qu'il fallait mettre les effets chimiques en rapport avec le volume du gaz oxygène employé; en un mot renoncer, autant que possible à l'emploi des corps indiquant seulement l'ozone, et s'assurer, par expérience, si un volume d'oxygène pur et sec peut, sous l'influence de l'électricité, se transformer en un corps complètement absorbable par l'iodure de potassium et par les différents métaux.

Le problème, qui paraissait d'abord facile à résoudre, a présenté cependant d'assez grandes difficultés. MM. Fremy et Becquerel ont répété toutes les expériences faites par leurs prédécesseurs et qui se résument en deux procédés :

1° *l'emploi de l'électricité; 2° l'emploi des actions chimiques.*

Les premières recherches ont été faites sur de l'oxygène provenant de la décomposition de l'eau par la pile; on agissait donc sur du gaz humide qu'on avait eu soin de débarrasser de toute trace d'acide sulfurique en le faisant passer à travers plusieurs tubes laveurs jusqu'à ce que l'eau ne précipitât plus par le chlorure de barium.

Ces expériences ont démontré que si l'électricité possède une force suffisante, le gaz oxygène est toujours fortement odorant; il agit fortement sur l'iodure de potassium et oxyde un grand nombre de métaux; mais les propriétés oxydantes de l'oxygène de la pile cessent de se manifester lorsque ce gaz est complètement desséché et qu'on le fait agir sur des métaux également secs, cependant il possède encore l'odeur de l'Ozone.

Après avoir constaté que l'électricité, provenant de sources diverses, donne à l'oxygène une puissance oxydante très-énergique, il était intéressant de rechercher si *l'électricité par influence* produirait les mêmes effets. Dans ce but, MM. Fremy et Becquerel ont enfermé de l'oxygène dans un tube de verre où l'on avait introduit préalablement un papier amidonné et ioduré, qui devait manifester par son changement de couleur l'action de l'oxygène; ce tube a été ensuite fermé à la lampe à ses deux extrémités.

Le tube a été placé entre les tiges d'un excitateur uni-

versel, dont les pointes venaient toucher la surface extérieure du tube : en excitant alors une succession d'étincelles entre les pointes, ces étincelles devaient nécessairement lécher la surface extérieure du tube en suivant une demi-circonférence : en amenant alors le papier amidonné et ioduré en face des pointes extérieures, les expérimentateurs ont vu le papier présenter immédiatement une coloration bleue dans les parties qui se trouvaient en présence des pointes; cette coloration s'est ensuite étendue aux autres portions du papier placées en face de la partie du tube léchée par l'étincelle. Comme dans l'expérience, l'électricité ne passe qu'à l'extérieur du tube, on ne peut attribuer la coloration du papier qu'à l'électrisation par influence; mais on pouvait se demander si cette influence s'exerce sur l'oxygène qu'elle modifie, ou sur l'iodure de potassium.

Pour répondre à cette question, on prépara des tubes semblables aux précédents dans lesquels l'oxygène était remplacé par de l'hydrogène et qui furent ensuite soumis à l'influence de l'électricité. Dans ces expériences, le papier ne s'est pas coloré. Pour réussir, il faut avoir soin de préparer le gaz très-pur et de débarrasser le papier de l'air qu'il retient dans ses pores; car la plus faible quantité d'oxygène suffirait pour déterminer une coloration bleue : ainsi les effets observés sont dûs à l'oxygène qui s'électrise, et non à l'iodure de potassium qui se décomposerait sous l'influence de l'électricité.

Ces résultats sont très-importants; ils démontrent en effet, d'une manière rigoureuse, que c'est bien l'électricité et l'électricité seule, qui modifie l'oxygène, puisque cette action se manifeste dans des tubes fermés, tandis que dans les autres expériences, on peut admettre que l'étincelle est accompagnée de corps étrangers qui se trouvent transportés d'un fil à l'autre et qui déterminent des effets particuliers.

Toutefois, il faut ajouter, qu'il a été impossible de rendre odorant, au moyen de l'électrisation par influence, de l'oxygène pur enfermé dans des tubes.

MM. Fremy et Becquerel ne se sont pas tenus pour satisfaits de cette belle expérience; ils ont pensé que pour démontrer que l'oxygène se modifie réellement par l'action de l'électricité, il ne faut pas se contenter de mettre en évidence les propriétés nouvelles de l'oxygène qui a été électrisé, mais qu'il faut transformer un volume d'oxygène pur et sec, en un corps entièrement absorbable par les métaux ou l'iodure de potassium.

Dans ce but, ils ont soumis à l'influence de l'étincelle électrique produite par une machine ordinaire, l'oxygène provenant de sources diverses, telles que le chlorate de potasse, la calcination des oxydes de mercure et de manganèse, etc.; et dans la crainte que ce gaz ne contînt des traces d'un corps étranger pouvant agir sur l'iodure de potassium, ils l'ont soumis aux agents de purification les plus énergiques; ils l'ont mis en contact à plusieurs

reprises avec de la potasse et de l'acide sulfurique, puis ils l'ont fait passer dans un tube de porcelaine chauffé au rouge. Ces purifications terminées, l'oxygène a été soumis à l'action de l'étincelle électrique et bientôt il est devenu odorant et a pris un pouvoir oxydant très-énergique.

L'oxygène électrisé a été ensuite mis en contact avec une dissolution d'iodure de potassium, avec une lame d'argent humide, avec du mercure également humide, et l'oxydation s'est déterminée immédiatement et à froid; l'absorption du gaz oxygène finit par être complète en peu d'heures.

Voici comment ces auteurs ont procédé. Ils ont introduit de l'oxygène très-pur dans de petits tubes eudiométriques, qui ont été placés ensuite sur une dissolution d'iodure de potassium recouverte d'huile extérieurement à ces tubes, pour éviter l'absorption de l'azote, et ils ont soumis le gaz oxygène à l'action des étincelles électriques. Ils ont vu l'oxygène s'absorber d'une manière régulière par l'action des étincelles électriques, la dissolution d'iodure de potassium prenant alors une teinte jaune très-marquée. Après trois heures d'électrisation, le liquide était monté de deux centimètres dans l'intérieur du tube, et en prolongeant l'expérience suffisamment longtemps, l'oxygène électrisé finissait par être absorbé complètement par l'iodure de potassium. Cette expérience a encore démontré que l'absorption du gaz était toujours proportionnelle au temps de l'électrisation.

Les résultats furent identiquement les mêmes avec une lame d'argent introduite dans un tube eudiométrique placé sur l'eau et rempli d'oxygène pur.

Pour agir sur le mercure, il faut remplir un tube eudiométrique de ce métal préalablement bouilli, puis y faire passer une certaine quantité d'oxygène très-pur : si on soumet, dans ces conditions, ce gaz à l'action de l'électricité, le métal n'éprouve aucune transformation; mais si on ajoute une petite quantité d'eau, l'oxydation est déterminée immédiatement. Il faut avoir soin d'introduire dans ce tube une assez faible quantité d'eau bouillie pour que le mercure soit seulement mouillé, car l'action oxydante s'arrête lorsque la surface métallique ne se trouve plus en contact avec le gaz électrisé.

MM. Fremy et Becquerel s'appuyant sur les expériences de M. Marignac, et surtout sur les leurs, démontrant que les phénomènes attribués à l'Ozone sont dus à de l'oxygène rendu éminemment oxydant par l'action de l'électricité, proposent de remplacer désormais le mot *Ozone* par celui d'*Oxygène électrisé.*

Aux recherches si précises et si concluantes de MM. Fremy et Becquerel, que nous avons en partie répétées, nous avons ajouté les expériences suivantes, dans le but de démontrer que ni l'oxygène ni l'électricité, agissant isolément, n'ont d'action sur l'iodure de potassium.

Une bande de papier préparé avec la solution d'iodure de potassium et l'amidon fut introduite dans un flacon

contenant de l'oxygène obtenu à l'aide du peroxyde de manganèse. Cet oxygène, nécessairement humide puisqu'il passe à travers l'eau pour pénétrer dans le flacon, resta dix jours en contact avec le papier réactif sans donner signe de réaction. Mais après avoir fait agir l'électricité sur cet oxygène à l'aide de deux fils de platine qui traversaient le bouchon, le papier annonça promptement, par sa coloration, la formation de l'Ozone. Cette partie de l'expérience, faite à l'aide d'une machine électrique ordinaire, ne demanda que cinq minutes.

Pour nous assurer, d'un autre côté, de l'action de l'électricité seule, nous avons fait le vide dans un ballon de verre de forme ovoïde, communément appelé l'*œuf électrique,* d'une capacité de deux litres et traversé dans son grand diamètre par deux tiges mobiles en cuivre. Le vide obtenu à l'aide de la machine pneumatique, nous avons mis la machine électrique en mouvement; aussitôt le courant électrique s'est établi; il formait une belle colonne de feu d'un rouge bleuâtre s'étendant de l'extrémité d'une tige à l'autre, distantes de douze centimètres, et traversant dans toute la longueur une bande de papier réactif, roulée en cornet et fixée à l'une des tiges métalliques. Comme dans le vide il ne se forme pas d'étincelles électriques, la colonne de fluide semblait pénétrer et envelopper le papier tout entier; cette belle expérience dura un quart d'heure; le papier fut ensuite trempé dans l'eau et nous n'aperçûmes aucune trace de

réaction. Il reste donc bien démontré que l'oxygène et l'électricité, agissant isolément, ne décomposent pas à froid l'iodure de potassium, que ce n'est que par la combinaison de ces corps que la réaction chimique peut avoir lieu.

Bien qu'il ne reste plus de doute à nos yeux sur la composition chimique de l'Ozone, et que nous reconnaissions que c'est de l'*Oxygène électrisé*, nous continuerons à nous servir du mot adopté par M. Schœnbein et déjà consacré par l'usage.

DE LA PRODUCTION DE L'OZONE

L'Ozone se produit naturellement dans l'atmosphère partout où il se forme un courant électrique ou des décharges naturelles; c'est ce qui constitue l'*Ozone atmosphérique* dont nous parlerons plus loin.

L'*Ozone chimique* se produit dans nos laboratoires dans des circonstances connues et bien déterminées. M. Schœnbein se procure une grande quantité d'air ozonisé en mettant dans un ballon de dix à quinze litres de capacité, une petite quantité d'eau et des bâtons de phosphore d'un centimètre de diamètre, de manière à ce qu'ils plongent moitié dans l'air, moitié dans l'eau, élevant la température de douze à vingt degrés, et fermant imparfaitement le ballon. Quand l'opération est achevée, ce dont on s'aperçoit à l'odeur que répand l'air ozonisé, on renverse le ballon dans une cuve à eau pour en faire sortir les bâtons de phosphore, qu'on retire, et on agite pour laver le composé. Cette opération achevée, on adapte un bouchon dans lequel passent deux tubes, l'un servant à faire arriver l'eau, l'autre, à transmettre l'air ozonisé dans des vases ou des tubes renfermant les substances soumises à son action.

Que se passe-t-il dans cette opération? Les vapeurs de phosphore se combinent avec une partie de l'oxygène atmosphérique et forment de l'acide hypophosphorique

qui se dissout immédiatement dans l'eau du flacon; cette combinaison chimique donne lieu à un dégagement d'électricité qui agit sur le reste de l'oxygène de l'air et l'Ozone se produit.

M. Schœnbein eut encore l'idée de rechercher si des réactions chimiques ne pouvaient pas modifier l'oxygène comme l'électricité, et servir à préparer une plus grande masse de gaz doué des propriétés de l'Ozone. Il a indiqué, dans ce but, plusieurs procédés de préparation : le mélange d'acide sulfurique hydraté et de peroxyde de plomb porté à l'ébullition; le mélange d'acide sulfurique et de bichromate de potasse, etc.; mais M. Marignac [1], après avoir expérimenté ces méthodes, a démontré leur inefficacité.

C'est donc au phosphore, jusqu'à présent, qu'on a recours pour obtenir de l'Ozone artificiel. Pour y parvenir, il faut se mettre dans les conditions suivantes: L'air contenu dans le flacon doit être à la pression barométrique ordinaire, et sa température à + 12 ou 15 degrés et au maximum 36°. Dans l'air humide à zéro et au-dessous, il ne se forme pas d'Ozone; la formation commence à être sensible à 6 ou 8 degrés; à 15 ou 20 degrés, elle est prompte et peut se faire sans danger.

Si l'air est comprimé de façon à occuper un volume

(1) *Archives de l'électricité*, tome v, page 6.

cinq ou six fois moindre, il ne se forme pas d'Ozone à la température ordinaire; pour obtenir une action il faut alors élever la température.

La présence de certains gaz, tels que le gaz oléfiant, les vapeurs nitreuses s'opposent à la formation de l'Ozone.

Au lieu d'air atmosphérique on peut, pour former de l'Ozone, se servir d'oxygène obtenu par l'un des procédés connus.

Le phosphore, dans l'oxygène humide, sous la pression ordinaire, donne naissance à de l'Ozone quand la température est portée à 20 ou 24 degrés; la formation de cette substance est très-rapide à 36 degrés.

Il ne s'en forme pas à la même température quand l'oxygène est pur et sec.

La présence de certains gaz dans l'oxygène produit le même effet que la raréfaction ou l'élévation de température. L'hydrogène est de tous les gaz celui qui jouit de cette propriété au plus haut degré; viennent ensuite l'azote et l'acide carbonique. Dans un mélange aussi humide que possible de quatre parties d'hydrogène et d'une d'oxygène, la formation de l'Ozone est si rapide à la température de 15 à 20 degrés que, par suite de l'action exercée par le corps sur le phosphore, ce dernier s'enflamme ainsi que le mélange explosible.

On obtient encore l'Ozone par la décomposition de l'eau par la pile. Le principe odorant se forme par l'ac-

tion de l'électricité sur l'oxygène émanant du pôle positif, à la condition cependant que la substance qui sert d'électrode positif soit de l'or ou du platine; car les substances métalliques plus facilement oxydables n'en donnent pas la moindre trace.

MM. Marignac et de la Rive réunis ont cherché à produire de l'Ozone dans l'oxygène pur et sec au moyen des étincelles électriques; ils ont trouvé que dans ces conditions, l'Ozone se développe dans l'oxygène pur et sec, tel qu'on l'obtient du chlorate de potasse préalablement fondu. Il en est de même dans de l'air atmosphérique très-sec soumis à des décharges électriques ou à un courant continu et invisible.

On peut, en outre, avancer que partout où des combinaisons chimiques se forment au contact de l'air atmosphérique, et par conséquent dans toute réaction où il y a dégagement d'oxygène, il y a formation d'Ozone, car l'électricité joue un rôle dans toutes les compositions et décompositions des corps. C'est à ce phénomène qu'il faut attribuer les résultats obtenus par M. Houzeau, en faisant réagir, à une basse température, l'acide sulfurique monohydraté sur du bioxyde de barium (1). Dans cette opération, M. Houzeau se proposait d'obtenir de l'oxygène à l'état naissant. « En considérant, dit-il, le cas le plus remarquable où l'oxygène

(1) **Recherches sur l'oxygène naissant**, par Aug. Houzeau. (*Journ. de pharm. et de chim.* — Juin 1855, page 413.)

se constitue à l'état naissant, celui que nous offre la préparation de l'eau oxygénée, j'ai été conduit à supposer que si, par un dédoublement heureux des deux atomes d'oxygène qui sont unis au barium pour former le bioxyde, je parvenais à mettre en liberté l'atome mobile en dehors du contact de toute substance oxydable, cette molécule, en se dégageant, se révélerait par ses propriétés éminemment oxydantes. »

Les prévisions de M. Houzeau se sont réalisées; il a obtenu un gaz, qu'il considère comme de l'oxygène naissant à l'état libre et auquel il attribue les propriétés générales suivantes à la température de + 15° :

Gaz incolore, très-odorant, ayant la saveur du homard;

Décolore avec rapidité le tournesol bleu;

Oxyde l'argent;

Brûle spontanément l'ammoniaque et la transforme en nitrate;

Brûle instantanément l'hydrogène phosphoré avec émission de lumière;

Agit rapidement sur l'iodure de potassium et met l'iode en liberté;

Décompose l'acide chlorhydrique et met le chlore en liberté;

Est un agent puissant d'oxydation et un chlorurant énergique;

Stable à + 15°, est détruit vers 75°.

Si toutes ces propriétés appartenaient à l'oxygène nais-

sant, il faudrait admettre qu'elles sont identiques à celles qu'on attribue à l'Ozone; mais évidemment M. Houzeau a commis une erreur en ne tenant pas compte de l'influence de l'électricité sur l'oxygène provenant du bioxyde de barium. Dans la décomposition active de ce sel par l'acide sulfurique, il y a production abondante d'électricité, et par suite formation immédiate d'Ozone, et c'est bien à ce gaz qu'il faut rapporter les caractères attribués à l'oxygène naissant.

Les faits se passeront ainsi dans tous les cas analogues; mais lorsque la décomposition d'un sel s'opère lentement, lorsque l'électricité développée a peu d'activité, elle ne réagit pas suffisamment sur l'oxygène, et ce gaz conserve les propriétés qui lui appartiennent réellement.

Il faut constater d'ailleurs que l'oxygène peut être modifiée par l'électricité plus facilement que les autres gaz, propriété qu'on aurait pu admettre *à priori* en se rappelant les belles expériences de M. Ed. Becquerel, servant à démontrer que l'oxygène peut devenir magnétique sous l'action des aimants (1).

(1) *Compte-rendu des séances de l'Acad. des sciences*, mai 1849 et août 1850. — *Ann. de chim. et de phys.*, tome XXVIII, page 283.

PROPRIÉTÉS CHIMIQUES DE L'OZONE.

L'Ozone est incolore, son odeur est pénétrante, nauséabonde; on l'a comparée à celle du chlore, du phosphore en combustion, à celle qui s'échappe des plateaux d'une machine électrique, ou des pointes métalliques lançant des étincelles électriques; comparaisons tout-à-fait fausses, puisque nous savons que l'odeur provenant des tiges métalliques ou d'un plateau électrisé est l'Ozone lui-même.

L'Ozone est le plus puissant agent d'oxydation connu; il oxyde à froid l'argent et le mercure lorsqu'ils sont humides; il décompose la dissolution d'iodure de potassium, qui prend alors une teinte jaune très-marquée. Lorsque l'expérience est prolongée suffisamment, on constate que l'absorption du gaz ozoné a lieu jusqu'à disparution complète du volume d'oxygène employé.

Si l'Ozone est parfaitement sec et que les métaux le soient également, l'oxydation n'a pas lieu.

L'Ozone est sans action sur l'eau pure; cependant j'ai constaté qu'en laissant plusieurs heures ce gaz en contact avec de l'eau, il s'y dissout, ce qui est démontré par le papier réactif qu'on y plonge.

L'oxygène électrisé provenant de la pile, qui a perdu ses propriétés oxydantes après l'action de l'iodure de potassium, peut reprendre son activité chimique et son odeur lorsqu'on le soumet à l'action de l'étincelle élec-

trique. Cette expérience peut être répétée sur le même gaz un grand nombre de fois.

Lorsqu'on fait passer de l'Ozone dans un tube chauffé à 250 degrés, il est entièrement détruit. Il en est de même, à la température ordinaire, avec le charbon.

Lorsqu'on plonge dans l'eau le papier réactif préparé avec l'iodure de potassium et l'amidon après l'avoir soumis à l'action de l'Ozone, la potasse se dissout et le papier rouge de tournesol bleuit. Cependant la quantité de potasse étant excessivement faible, il faut attendre vingt-quatre heures pour que la réaction de la potasse sur le papier de tournesol se manifeste pleinement.

L'Ozone détruit promptement les matières colorantes organiques, ainsi que les matières ligneuses et albumineuses; il se combine chimiquement avec le chlore, le brome et l'iode en présence de l'eau; il se forme alors des acides chlorique, bromique, iodique. L'air atmosphérique fortement ozonisé, en présence de l'eau de chaux, produit des quantités appréciables de nitrate de chaux.

L'Ozone se combine directement avec le gaz oléfiant sans se décomposer; il détruit l'hydrogène sulfuré, l'hydrogène sélénié, etc., et change les acides sulfureux, nitreux, etc., en acides sulfurique, nitrique, etc.

L'Ozone précipite du peroxyde de plomb d'une dissolution alcaline de plomb ou d'acétate de ce métal. Il décompose rapidement tous les sels de protoxyde de manganèse, soit à l'état solide, soit à l'état de dissolution, en

produisant du péroxyde. Il résulte de là qu'une bande de papier sèche et imprégnée de sulfate ou de chlorure de manganèse peut servir de réactif pour reconnaître l'Ozone. Un autre réactif, très-sensible, est une bande de papier amidonné renfermant une très-petite quantité d'iodure de potassium; nous en reparlerons longuement plus loin.

Une dissolution de ferrocyanure de potassium est transformée par l'Ozone en ferricyanure rouge. La même transformation s'opère encore sur un cristal de ferricyanure jaune suspendu dans un flacon renfermant une atmosphère fortement ozonisée. Après douze heures, la transformation est déjà assez avancée pour qu'on puisse enlever une couche sensible de cyanure rouge.

Un grand nombre de sulfures métalliques sont rapidement transformés par l'Ozone en sulfates, notamment les sulfures de fer, de plomb, de cuivre et d'antimoine.

L'Ozone est rapidement absorbé par un grand nombre de substances végétales et animales, telles que l'albumine, la caséine, la fibrine, le sang, etc.

L'Ozone détruit rapidement tous les miasmes oxydables, c'est l'agent le plus puissant de désinfection.

Mais un des faits les plus intéressants dans l'histoire de l'Ozone pour le médecin et le physiologiste, c'est l'action produite par cet agent snbtil sur l'économie animale : il excite les poumons, provoque la toux, la suffocation et finit par devenir une substance délétère et suffisamment toxique pour occasionner la mort.

RECHERCHES MÉTÉOROLOGIQUES SUR L'OZONE ATMOSPHÉRIQUE.

L'existence de l'Ozone étant démontrée par les recherches chimiques, il restait à trouver le moyen d'en reconnaître la présence dans l'atmosphère. M. Schœnbein s'en occupa dès 1840, ce qui est constaté par la lettre qu'il écrivit alors à Arago. Il se proposait à cette époque de placer sur des lieux élevés des plaques de platine communiquant avec la terre. Comme ce métal prend, sous l'action du principe odorant, la polarité négative, on en pourra conclure que l'Ozone est formé lorsque le platine se trouvera polarisé négativement.

M. Schœnbein, en développant ses idées, engageait Arago à faire des observations semblables à l'Observatoire de Paris pour constater la polarité négative prise par le platine sous l'influence de l'Ozone. Je me sers, dit-il, (1) d'un galvanomètre dont le fil forme 2000 tours et dont l'aiguille aimantée est astatique.

Ce procédé était peu pratique, aussi n'ai-je trouvé dans mes nombreuses recherches, aucune indication annonçant qu'on en a fait usage.

Nous avons déjà fait connaître que l'Ozone décompose rapidement tous les sels de protoxyde de manganèse, soit à l'état solide, soit à l'état de dissolution, en produisant

(1) Lettre à M. Arago. — (*Compt.-rendus*. tome x, page 710.)

du peroxyde. M. Schœnbein a utilisé cette propriété pour faire un papier réactif indiquant la présence de l'Ozone; il lui a suffi pour cela d'imprégner du papier d'une dissolution de sulfate ou de chlorure de manganèse; de couper le papier lorsqu'il est sec et d'en exposer une bande à l'action de l'air atmosphérique libre : s'il y a de l'Ozone, cette bande brunit rapidement.

Mais le réactif préféré, le seul employé aujourd'hui, est le papier imprégné d'iodure de potassium et d'amidon.

Voici la composition et la préparation de ce papier.

On prend : 100 grammes d'eau distillée,
10 grammes d'amidon,
1 gramme d'iodure de potassium.

On dissout l'iodure de potassium dans l'eau distillée, on pulvérise soigneusement l'amidon qu'on délaie dans le liquide; lorsque le mélange est complet, on verse le tout dans une capsule de porcelaine placée sur un feu doux, on agite lentement avec une tige en verre jusqu'à ce que l'amidon s'épaississe et prenne en colle liquide. On étend ensuite cette colle sur du papier à filtrer, dit papier de Berzélius, on fait sécher, et lorsque le papier est sec, on le coupe par bandelettes de dix centimètres de longueur sur trois de largeur. Une précaution indispensable à prendre, c'est d'étendre cette colle par couches uniformes; il arrive souvent qu'on en met trop sur un point et pas assez sur un autre : pour éviter

cet inconvénient, on peut employer plusieurs procédés : le premier consiste à poser le papier sur une table en marbre poli placée bien horizontalement : puis à étendre la colle à l'aide d'un pinceau très-fin ; mais on a deux inconvénients c'est de ne mettre de la colle que d'un seul côté et d'avoir des stries formées par les poils du pinceau, cependant ce papier peut servir utilement.

Par le second procédé, on coupe la feuille de papier en bandes plus ou moins larges, on les trempe dans la colle, et en les retirant on râcle légèrement avec un couteau de bois. Le meilleur moyen est en effet de couper la feuille de papier par bandes, de mettre une anse de fil à l'extrêmité de chaque bande, de plonger le papier dans la colle et de l'en retirer doucement en faisant passer ce papier entre deux baguettes de verre cylindriques, qu'un aide tient un peu écartées ; sans cette précaution le papier se romprait facilement. Ces dispositions prises, on passe des baguettes dans les anses de fil, et on fait sécher le papier dans un appartement où l'on ne fait pas de poussière.

Ce papier ainsi préparé doit être enveloppé et conservé dans une boîte ou dans un bocal. La vétusté ou le froissement peuvent altérer ce papier, non par décomposition chimique, mais parce que la colle, en se desséchant, s'écaille, tombe et emporte la plus grande partie de l'iodure de potassium.

La nature du papier a une véritable importance, car

elle modifie souvent les résultats obtenus. Le papier à filtrer, dit de Berzélius, recommandé jusqu'à présent, présente de véritables inconvénients; il est inégal dans sa texture, il s'imbibe irrégulièrement et se déchire avec facilité; il en résulte que les réactions de l'Ozone sur l'iodure de potassium se font inégalement, que la coloration bleue se présente par stries irrégulières, et que, quelquefois, il reste décoloré malgré la présence de l'Ozone dans l'atmosphère.

Pour ces motifs je préfère employer le papier à lettre ordinaire et surtout le papier glacé : sa surface est lisse, le grain en est fin et la solidité suffisante. Pour le préparer, on le coupe par bandelettes de deux à trois centimètres de largeur. On les plonge dans la solution d'iodure de potassium à un gramme pour cent grammes d'eau, on les y laisse douze heures au moins, on fait sécher, puis on les enduit de la composition précédemment indiquée, c'est-à-dire d'eau, d'amidon et d'iodure de potassium.

Les expériences comparatives que j'ai faites m'ont démontré que le papier glacé bien préparé, l'emporte, pour l'uniformité des teintes et la facilité des réactions chimiques, sur toutes les autres préparations faites avec le papier habituel.

Toutefois il faut noter que les pâtes de papier étant formées de chiffons blanchis au chlore, le papier en conserve toujours un peu, de là une petite réaction sur

l'iodure de potassium qui donne au papier une légère teinte rougeâtre : cet inconvénient est très-faible, il ne modifie en rien l'action de l'Ozone sur le papier ioduré et amidonné; il serait préférable toutefois d'avoir du bon papier fin et lisse n'ayant pas subi l'action du chlore.

Il ne faut pas se dissimuler cependant que ces moyens d'expérimentation sont imparfaits et qu'il reste encore à découvrir un procédé ozonoscopique régulier et certain.

Lorsqu'on expose une bandelette de papier amidonné et ioduré dans une atmosphère ozonisée, le papier ne tarde pas à éprouver une altération; il jaunit, se colore de plus en plus, et finit par devenir bleu s'il y a une forte humidité dans l'air. Dans tous les cas, après avoir laissé le papier exposé à l'influence de l'Ozone pendant un temps que nous indiquerons plus loin, il faut le tremper dans l'eau, et on le voit prendre aussitôt une coloration plus ou moins foncée, selon le degré de décomposition de l'iodure de potassium.

Que se passe-t-il lorsque le papier, convenablement préparé, se trouve dans l'atmosphère ozonisée? Il s'opère une décomposition chimique qui permet à l'Ozone, agent d'oxydation le plus puissant, de s'emparer du potassium qu'il oxyde en mettant l'iode à nu. Ce corps se trouvant alors en contact avec l'amidon, forme aussitôt un iodure d'amidon qui révèle sa présence par sa belle couleur bleue.

Lorsque le papier se sèche, la coloration faiblit; ce

qu'il faut attribuer à la vaporisation de l'iode. Cependant si vous retrempez dans l'eau ce papier en partie décoloré, il bleuit de nouveau, parce qu'il se forme une nouvelle quantité d'iodure d'amidon.

Cette explication, si simple et si vraie, n'a pas été acceptée immédiatement par tous les savants. On a prétendu que la coloration du papier pourrait bien être le résultat de l'action de l'iode répandu dans l'air sur l'amidon; mais l'existence normale de l'iode dans l'air, affirmée par M. Chatin, n'est pas encore un fait incontestablement démontré, et d'ailleurs, le serait-il, que les atomes d'iode disséminés dans l'atmosphère ne suffiraient pas pour colorer le papier; l'expérience directe l'a démontré.

L'iode normal de l'air étant repoussé, on a prétendu que le chlore pouvait aussi opérer la coloration du papier en décomposant l'iodure de potassium. Le fait est vrai chimiquement; mais le chlore ne se produit pas dans l'air, donc on ne peut lui attribuer la coloration du papier ozonométrique. L'ammoniaque est aussi sans action sur le papier qui ne bleuit pas même dans les lieux d'aisances.

On a encore avancé que la coloration du papier était due principalement à l'action de l'oxygène. On est bientôt détrompé en faisant une expérience directe; déjà nous avons dit que nous avons placé un papier amidonné et ioduré dans de l'oxygène humide, que nous l'y avons

laissé dix jours sans qu'il subît la plus légère altération. Il en a été de même lorsque nous avons soumis un autre morceau de papier à l'action de l'électricité dans le vide.

Le colorique est également sans action sur le papier ozonométrique.

Il reste donc bien démontré que la coloration du papier amidonné et ioduré est le résultat de l'action de l'Ozone, et que cet agent a seul la puissance d'opérer cette décomposition à froid dans l'air atmosphérique.

M. Schœnbein ne s'est pas borné à démontrer la présence de l'Ozone dans l'air, il a voulu qu'on pût en mesurer la quantité en comparant la coloration du papier ioduré à des types soigneusement étudiés et placés de manière à former une échelle de graduation. Cette échelle porte le nom *d'ozonomètre* [1].

Elle se compose de onze bandelettes superposées portant des numéros depuis 0 jusqu'à 10. La bandelette tout-à-fait blanche constitue le 0, et la bandelette la plus colorée le n° 10 ; les intermédiaires ont une coloration qui varie selon qu'elles se rapprochent ou s'éloignent de la teinte la plus foncée.

Pour faire les observations ozonométriques on suspend une bandelette de papier préparé dans un endroit abrité où l'air ait un libre accès, ne recevant pas di-

[1] Voir la planche à la fin du volume.

rectement les rayons du soleil et éloigné, le plus possible, des lieux d'aisance et autres foyers de dégagement de vapeurs ou de gaz destructeurs de l'Ozone.

La durée de l'exposition d'une bandelette est de douze heures, après lesquelles elle est trempée dans l'eau. La coloration que prend le papier mouillé est comparée à l'échelle, et le chiffre de la teinte est porté sur l'état de consignations des observations journalières.

On fait deux observations en vingt-quatre heures: une de jour et une de nuit; la première de six heures du matin à six heures du soir; la deuxième, de six heures du soir à six heures du matin.

Ces remarques ont permis de constater que l'Ozone se forme plus abondamment dans les hautes régions de l'atmosphère que dans les couches inférieures de l'air; que l'Ozone diminue lorsque les conditions atmosphériques facilitent l'écoulement du fluide électrique.

Mais ces données générales ne suffisent pas, il faut que nous cherchions à établir les relations qui existent entre la production de l'Ozone et la marche de l'électricité atmosphérique, celle de la température, la direction des vents et le degré de sérénité du ciel.

RECHERCHES MÉTÉOROLOGIQUES.

L'électricité et l'ozone atmosphériques.

Quelque intéressante que soit l'histoire de la découverte de l'électricité atmosphérique, nous ne nous en occuperons pas : nous mentionnerons, sans nous y arrêter, les recherches d'Otto de Guericke, bourgmestre de Magdebourg, celles du docteur Wall qui, vers la fin du 17e siècle, obtint une étincelle électrique en frottant un cylindre d'ambre, et devina aussitôt les rapports de ce fait avec l'éclair et le bruit du tonnerre. (*Transact. philos.*) Nous ne ferons également que rappeler les expériences de Franklin sur la foudre; les recherches hardies du magistrat de Romas, assesseur au Présidial de Nérac, qui, sans connaître les résultats obtenus par le philosophe américain, avait eu l'idée, au mois de juin 1753, de lancer un cerf-volant dans les nues après avoir introduit un fil de métal dans la corde, ce qui lui fit obtenir des étincelles électriques d'une grandeur prodigieuse. « Représentez-vous, dit de Romas, des lames de feu de 9 ou 10 pieds de longueur et d'un pouce de grosseur, qui faisaient autant de bruit que des coups de pistolet. En moins d'une heure, j'eus certainement trente lames de cette dimension, sans compter mille autres de 7 pieds et au-dessous. » (*Mémoires des savants étrangers*, tomes II et IV.)

L'électricité atmosphérique ne peut donc être mise en doute; mais les lois qui règlent le développement et la manifestation de ce fluide, sont encore obscures et incomplètement connues. Il est difficile de bien exposer l'état actuel de la science, et ce qui ajoute à la difficulté, c'est la divergence des opinions, la dispersion des travaux dans de nombreux recueils scientifiques, l'insuffisance des observations et le défaut d'ensemble dans la direction des recherches.

Cependant nous allons nous efforcer de résumer les connaissances récemment acquises sur l'électricité atmosphérique en nous renfermant dans le cercle des faits qui se rapportent à l'Ozone.

Sources de l'électricité atmosphérique. — Parmi les observateurs habiles qui se sont occupés de cette étude, il faut citer en première ligne de Saussure et Volta; mais leurs travaux, restés fort incomplets, furent heureusement repris, en 1825, par M. Pouillet ([1]). Ce savant expérimentateur signala deux grandes sources d'électricité atmosphérique: 1° *La végétation,* 2° *l'évaporation* auxquelles nous ajouterons 3° *les actions chimiques.*

1° *La végétation.* — Pour démontrer le développement de l'électricité pendant la végétation, M. Pouillet fit l'expérience suivante: Douze capsules en verre, vernies intérieurement, furent disposées sur un plateau

([1]) **Recherches sur l'origine de l'électricité atmosphérique.** (*Annales de phys. et de chimie*, 1827.)

verni dans un petit appartement où l'on avait répandu de la chaux vive pour faire une atmosphère sèche et peu conductrice de l'électricité. On mit dans les capsules de la terre végétale et des graines qui germèrent rapidement ; on les fit communiquer entre elles par des fils métalliques ; la première communiquait au plateau inférieur du condensateur, le plateau supérieur communiquait au sol. L'expérience ainsi préparée, on l'abandonna à elle-même, en essayant, trois fois par jour, l'état électrique du condensateur.

Il fut ainsi constaté que, dans l'acte de la végétation, l'électricité se manifeste rapidement, et que sur une surface en pleine végétation de cent mètres carrés, il se dégage *en un jour* plus d'électricité vitrée qu'il n'en faudrait pour charger la plus forte batterie.

Si l'on voulait maintenant calculer la quantité d'électricité fournie par la surface du globe couverte de végétaux, l'esprit serait étonné de la prodigieuse richesse de cette source. Et pour être exact, il faudrait encore y ajouter le dégagement d'électricité fourni par les animaux dont le corps, chez quelques-uns, laisse même échapper des étincelles apparentes, et chez d'autres, produit des décharges énergiques. (*Gymnote, tétrodon, raie torpille, etc.*)

2° *L'évaporation* n'a pas la puissance que lui accordait M. Pouillet : l'expérience démontre, en effet, que les liquides qui se vaporisent ne manifestent d'électri-

cité qu'à la condition de favoriser une action chimique. Ainsi lorsque vous exposez au contact de l'air de l'eau distillée, il ne se produit pas d'électricité, si par le fait de la chaleur le liquide passe à l'état gazeux; mais l'électricité devient manifeste si les molécules liquides, en se vaporisant, doivent se séparer de quelque élément hétérogène auquel elles sont chimiquement agrégées : l'élément hétérogène prend alors l'électricité négative ou positive, et la vapeur s'élève avec le fluide contraire; c'est ce qui arrive quand l'eau contient des sels de diverses natures.

Lorsque les molécules d'eau sont en contact avec la terre, elles se vaporisent en emportant constamment de l'électricité négative qui lui est fournie par le globe, ainsi que nous le démontrerons plus loin.

La surface des mers, l'eau de nos rivières et même le simple contact des solides et des fluides en mouvement fournissent abondamment de l'électricité à l'atmosphère (1).

3° *Les actions chimiques.* — Les corps éprouvent sans cesse des mouvements de composition et de décomposition qui deviennent une source abondante d'électricité. Tous les phénomènes chimiques attestent cette loi, et

(1) **Recherches sur les effets électriques produits au contact des solides et des liquides en mouvement, par Edm. Becquerel. — Ann. de chimie et de phys., 3e série, août 1853.**

l'on sait qu'elle est devenue la base d'une théorie acceptée par tous les savants.

« La quantité d'électricité associée aux molécules des corps effraie l'imagination, dit M. Becquerel père, tant elle est énorme, puisque pour décomposer *un milligramme* d'eau, il faut employer une quantité d'électricité équivalente à 20 000 charges au maximum d'une batterie électrique d'un mètre carré. Cette quantité, qui représente jusqu'à un certain point les affinités réciproques de l'oxygène et de l'hydrogène dans la composition de l'eau, produirait sans aucun doute les effets de la foudre si l'on pouvait en disposer en totalité; mais on n'en recueille malheureusement qu'une portion infiniment petite, attendu qu'on n'a pas encore trouvé les moyens d'empêcher la recomposition au contact des deux électricités dégagées, recomposition à la quelle se rattache la chaleur produite dans les actions chimiques [1]. »

Les mêmes phénomènes se produisent dans la combustion. M. Pouillet a démontré que l'oxygène, en se combinant avec un autre corps, détermine toujours un dégagement d'électricité; l'oxygène donne l'électricité positive, et le corps combustible, l'électricité négative; dans la combustion du charbon, l'oxygène est électrisé positivement et le charbon négativement; lorsque c'est l'hydro-

(1) **Nouvelles recherches sur les principes qui régissent le dégagement de l'électricité dans les actions chimiques**, par Becquerel. — Annales, *idem*, 3e série, décembre 1854.

gène qui brûle, l'oxygène s'électrise encore positivement et l'hydrogène négativement. Ces recherches curieuses ont été complétées par les travaux de M. Becquerel père, insérés dans les Annales de chimie et de physique (3e série, tom. XLII).

Mais on ne s'est pas arrêté à cette production en quelque sorte moléculaire de l'électricité; on a voulu se rendre compte de l'électricité fournie par le globe lui-même ; MM. Peltier et Becquerel père, ont abordé cette importante question :

« Au contact de la terre et d'une nappe d'eau ou d'un cours d'eau, dit M. Becquerel, il y a dégagement d'électricité ; la terre prend un excès notable d'électricité négative, et l'eau un excès correspondant d'électricité positive. » Plus loin il ajoute : « Il existe donc dans la nature des sources d'électricité à peu près constantes ; ces sources, dont on ne connaît pas encore toute la puissance, serviront peut-être à jeter quelque lumière sur plusieurs points encore obscurs de la formation des nuages orageux. »

« L'eau étant toujours dans un état positif et la terre dans un état négatif, quelle que soit la distance des points explorés, la première, en s'évaporant, verse continuellement dans l'air un excès d'électricité positive, tandis que la terre laisse échapper, par l'intermédiaire de la vapeur qui en sort, un excès d'électricité négative.

« En admettant que l'évaporation qui a lieu à la surface

de l'eau et de la terre transporte dans l'air des vapeurs chargées de l'une et de l'autre électricité, ces vapeurs parvenues à une certaine hauteur, en se condensant par le froid des régions supérieures, forment des nuages chargés les uns d'électricité positive, les autres d'électricité négative [1]. »

Mais toutes ces recherches, quelque exactes qu'elles puissent être, sont invalidées dans les conséquences qu'on en a tirées par une expérience de M. Peltier : ce physicien prétend que la vapeur produite à une température au-dessous de 110° centigrades n'emporte jamais d'électricité libre, qu'il n'y a d'électricité que celle formée à une température plus élevée que 110°, et comme cette température n'est pas celle de la surface du globe, les vapeurs électriques qui s'en élèvent ne peuvent provenir de la simple évaporation des eaux salines ou fluviales.

M. Peltier a été conduit par ses expériences et ses observations à une théorie qui s'éloigne totalement des idées émises par les autres auteurs, et comme il serait difficile, sans s'exposer à tronquer ses opinions, de présenter une analyse de son travail, nous allons le reproduire en entier [2].

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 5 *novembre* 1855. — *Mémoires sur les effets électriques produits au contact des terres et des eaux douces.*

(2) **Théorie de l'électricité atmosphérique**, par ATH. PELTIER. — *Annuaire météorologique de la France pour* 1850, pag. 181. — Paris.

« Une ancienne expérience de de Saussure et d'Hermann, restée sans résultat, est le point de départ de la série de faits qui me font envisager d'une manière toute nouvelle les phénomènes aqueux et ignés de l'atmosphère. Voici cette expérience fondamentale telle que je l'ai modifiée :

» On se place sur un lieu parfaitement découvert, dominant tous les objets environnants : on prend un électromètre armé d'une tige de quatre décimètres environ, surmontée d'une boule de métal poli de trois à quatre centimètres de rayon, afin d'augmenter les effets d'influence et d'éviter l'écoulement de l'électricité qui peut être repoussée dans la partie supérieure. On tient l'instrument d'une main, on l'équilibre de l'autre, en mettant en communication la tige et la platine. Toutes les réactions, étant égales de part et d'autre, les feuilles d'or de l'électromètre tombent droites et marquent zéro. Dans cet état d'équilibre, on peut laisser l'instrument en contact avec l'air libre pendant une journée entière sous un ciel serein, sans qu'il se manifeste le moindre signe d'électricité; on peut même le promener et agiter l'air; dès l'instant qu'on le tient à la même hauteur, il restera complètement muet. Mais si, au lieu de le laisser dans la même couche d'air, on l'élève de quatre à cinq décimètres, on voit aussitôt les feuilles d'or diverger et indiquer une tension *vitrée* (je préfère les mots *vitré* et *résineux* à ceux de *positif* et de *négatif*, comme étant plus insignifiants et ne préjugeant aucune théorie).

« Si on replace l'instrument au point de départ, les feuilles retombent exactement à zéro; si on le descend, au-dessous de ce point d'équilibre, les feuilles divergent de nouveau, mais alors elles sont chargées d'électricité *résineuse*. En le remontant au point de départ, l'instrument reprend son zéro et ne conserve rien des électricités libres qu'il a montrées un instant. Puisque aucune électricité libre n'est restée dans l'instrument, on ne lui a donc rien communiqué, et les signes qu'il a donnés n'étant que le produit d'une répartition nouvelle de l'électricité que la tige possédait au point d'équilibre, il a suffi de replacer l'instrument au même point pour les faire disparaître. Ce n'étaient enfin que des signes de l'électricité d'influence dans un corps qn'on approche ou qu'on éloigne d'un autre corps chargé d'une électricité libre, phénomène qu'on peut reproduire dans le cabinet en se plaçant sur une surface *résineuse* ou sous une surface *vitrée*.

« Au lieu d'une boule polie, si on place une ou plusieurs pointes ou une mèche allumée, comme faisait Volta, le phénomène cesse d'être simple et ne permet plus de distinguer si l'effet primitif a été une répartition nouvelle d'électricité prise à l'atmosphère.

« En effet, lorsqu'on lève l'instrument, l'électricité *résineuse*, coercée par l'influence *vitrée* de l'espace céleste à l'extrémité de la tige, au lieu de s'y maintenir, s'échappe par les pointes ou la flamme; lorsqu'on

baisse l'instrument, il lui manque toute l'électricité perdue, et l'équilibre ancien ne peut s'y rétablir. Il reste alors de l'électricité *vitrée* permanente, qu'on attribue à tort au contact de l'air; elle n'est en réalité que la portion séparée de celle de nom contraire qui s'est évanouie par les pointes et qui ne peut plus être neutralisée lorsqu'on replace l'instrument au point de départ. Cette expérience, constatant que ni l'air ni la vapeur qu'il contient, ne possèdent d'électricité *vitrée* libre, invalidait les conséquences que Volta, Lavoisier et Laplace avaient tirées de leurs expériences. En reproduisant et analysant ces dernières, je me suis efforcé de prouver que la vapeur produite à une température au-dessous de 110° centigrades n'emporte jamais d'électricité libre, qu'il n'y a d'électricité que celle formée à une température plus élevée que 110°. Cette température n'étant pas celle de la surface du globe, les vapeurs électriques qui s'en élèvent ne peuvent donc provenir de la simple évaporation des eaux salines ou pures.

« L'électricité des nues et des brouillards ne pouvant être méconnue, je recherchai d'où elle provenait. Dès que j'eus constaté que le globe terrestre est un corps chargé d'électricité résineuse, il me fut facile de démontrer par l'expérience que la vapeur qui s'en élève est résineuse comme lui, que cet état électrique du globe est une cause puissante d'évaporation, et que cette

dernière peut être quintuplée et sextuplée par une haute tension. La vapeur qui s'élève du sol étant résineuse comme lui, sa tension devait réagir de haut en bas contre celle du globe et en atténuer successivement tous les effets, c'est ce qui a lieu et c'est ce que démontre l'affaiblissement de l'influence terrestre sur les électromètres à mesure que la vapeur se forme pendant la chaleur de la journée. Ces instruments ne donnent pas la mesure de la totalité de l'électricité, mais de la différence seule des quantités qui agissent sur les armatures, d'une part, et sur la tige qui porte les feuilles d'or, de l'autre. Il en résulte qu'ils peuvent être placés au centre d'une masse de vapeur chargée d'une grande quantité d'électricité sans en donner le moindre signe. Ainsi, leur manifestation, décroissant avec la formation des vapeurs, est une preuve que ces dernières sont chargées d'électricité résineuse comme le globe, et qu'elles réagissent de haut en bas contre son action qui agit de bas en haut.

« La vapeur, étant quelque peu conductrice, ne garde pas longtemps l'égale répartition de sa tension résineuse; l'action incessante du globe repousse l'électricité résineuse vers les couches supérieures, et rend ainsi vitrées les couches inférieures. La nouvelle répartition de l'électricité se fait d'autant plus facilement que la densité augmente, c'est pourquoi l'électromètre, qui avait presque cessé de donner des signes électriques

au milieu de la journée, reprend peu à peu de l'étendue dans ses indications lorsque la condensation du soir se fait sentir ; les vapeurs inférieures deviennent vitrées par influence, et les vapeurs supérieures deviennent plus résineuses. Pendant la nuit, les vapeurs inférieures s'étant déposées en rosée, la quantité des vapeurs vitrées a diminué, les vapeurs supérieures réagissent alors plus librement, et, vers le matin, l'électromètre parle moins qu'il ne le faisait la veille au soir.

« Le premier effet du soleil levant est de faire repasser à l'état de vapeur élastique les vapeurs condensées de la nuit, qu'elles soient ou non à l'état vésiculaire. Ces vapeurs étant placées entre la terre *résineuse* et l'espace célestre *vitré*, les premières qui repassent à l'état de fluide élastique en affaiblissant celles des vapeurs qu'elles laissent en arrière et qui, devenues ainsi moins résineuses que le globe, sont vitrées par rapport à lui et à nos instruments. Dans ce premier moment de la révaporation des vapeurs supérieures, les couches laissées en arrière, devenues vitrées, sont atttirées par le sol, agissent davantage sur nos instruments par leur proximité, produisent souvent une seconde rosée, jusqu'à ce qu'enfin le soleil, dardant sur le sol même des rayons directs, l'échauffe et reproduit des vapeurs résineuses qui se répandent dans l'atmosphère, réagissent de haut en bas sur l'instrument, comme la veille, et atténuent l'effet du globe.

« Ce jeu des influences électriques se montre sur une très-grande échelle et plusieurs fois par jour autour des cimes des hautes montagnes. Depuis que j'ai constaté que tous les nuages gris et ardoisés sont chargés d'électricité résineuse et que tous les nuages blancs, roses ou orangés, sont chargés d'électricité vitrée, il m'a été facile de suivre à distance cet ordre de phénomènes sans être obligé d'aller mesurer leur tension avec l'électromètre. Voici l'extrait de mes observations :

« Lorsqu'un nuage blanc domine le sommet d'une montagne, sa puissante tension vitrée provoque et active l'évaporation de ses flancs humides, la quantité de vapeurs produites dépassant le point de saturation de ces régions froides, elles passent à l'état de vapeur vésiculaire et paraissent sous forme de flocons gris-cendrés, d'une teinte d'autant plus foncée que le nuage supérieur est d'un blanc plus éclatant. La teinte grise ne reste pas longtemps uniformément répartie : l'attraction vitrée du nuage blanc rend plus résineuse la bande périphérique du nuage gris, qui prend alors une teinte plus foncée et forme un ruban étroit à sa partie supérieure. Cette couche extrême se divise en stries sinueuses et tremblotantes, qui s'agitent, s'élèvent et disparaissent en repassant à l'état de vapeur élastique. Ces premières vapeurs disparues sont remplacées par d'autres qui éprouvent la même transformation et ainsi

de suite. La plus grande tension résineuse du ruban supérieur, manifestée par sa teinte plus ardoisée, ne peut avoir lieu qu'en prenant aux vapeurs inférieures l'électricité *résineuse* qu'elles ont emportée du sol; par la diminution de leur tension *résineuse,* ces dernières perdent peu à peu de leur teinte grise et finissent par devenir presque aussi blanches que le nuage supérieur. Ce dernier, lui-même, a perdu de son premier éclat à mesure que ses propres vapeurs étaient neutralisées par celles qui rayonnaient de la bande grise, le phénomène s'arrête alors, et la montagne cesse de fumer, pour ne recommencer que lorsque les vents l'auront débarrassée de ces nuages devenus semblables.

La présence d'un nuage gris au-dessus du sommet de la montagne produit un effet analogue, mais avec des signes électriques inverses. Le nuage qui sort de ses flancs est blanc, il est chargé d'électricité *vitrée*; son ruban supérieur est plus éclatant que le centre, il repasse à l'état de fluide élastique, et le reste perd peu à peu son éclat et devient gris. Enfin ces mêmes phénomènes se reproduisent encore sous un ciel serein, mais avec moins d'énergie; la tension *vitrée* de l'espace céleste suffit pour porter l'évaporation au-delà du point de la saturation de cette couche d'air. Souvent aussi l'électromètre indique que la vapeur élastique invisible est puissamment chargée d'électricité, quelquefois *vitrée,* d'autres fois *résineuse*. Sous cette influence nouvelle;

le fumage des montagnes augmente considérablement; cette abondance des vapeurs sortant du flanc des montagnes est elle-même un indice de la présence des vapeurs supérieures encore à l'état transparent : elle indique aussi que leur condensation prochaine, à mesure que leur électricité sera neutralisée, donnera des pluies abondantes. »

« En suivant attentivement toutes ces transformations sur les montagnes ou au milieu des plaines, on voit que chaque jour ramène à peu près la même série de faits. Ce sont des vapeurs produites soit par la température seule, soit par la température secondée par l'attraction électrique; puis vers le soir et pendant la nuit la condensation, et par suite, une nouvelle distribution de l'électricité sous l'influence du globe. Au lever du soleil, c'est la révaporation des vapeurs opaques ou une nouvelle dilatation de celles qui sont encore élastiques, l'une et l'autre se font sous cette même influence, *résineuse* en bas, *vitrée* en haut : les premières vapeurs qui s'élèvent sont les plus *résineuses*, les dernières le sont moins et sont alors *vitrées* par rapport aux premières; elles forment ainsi des nuages opaques de tensions différentes lorsque le refroidissement les condense. Les vapeurs journalières, en s'élevant ainsi dans l'atmosphère, éprouvent bientôt l'effet d'une autre influence électrique qui réagit puissamment de haut en bas : c'est celle du courant supérieur de l'atmosphère qui entraîne

vers les régions polaires les vapeurs *résineuses* des régions tropicales. La hauteur de ce courant et l'énergie de sa tension *résineuse*, variant avec les saisons, amènent des réactions plus ou moins éloignées de la surface du sol. C'est encore entre ces deux forces un résultat de différence dépendant de la proximité de l'une ou de l'autre de ces forces et des actions concomitantes de la température et des vents. »

Telle est la théorie de M. Peltier : suivant son système, le globe terrestre est un corps chargé d'électricité résineuse, et la vapeur qui s'en élève est résineuse comme lui. Cette électricité résineuse, en s'élevant dans l'atmosphère, favorise la vaporisation de l'eau, et comme la vapeur d'eau est légèrement conductrice, elle ne garde pas longtemps l'égale répartition de sa tension résineuse. Bientôt aussi l'électricité négative, lancée sans cesse par le globe vers les régions élevées, acquiert une forte tension, réagit sur les couches inférieures et produit *par influence* de l'électricité positive, de même qu'on voit un corps électrisé positivement agir, sans contact préalable, sur un autre corps placé à petite distance, et y déterminer, *par influence,* la manifestation de l'électricité contraire.

Lorsque les vapeurs des couches inférieures de l'air, chargées d'électricité positive, sont précipitées sur la terre par le froid de la nuit, l'électricité positive disparaît, et le matin, au soleil levant, l'électricité négative fournie par le globe, se développant librement, s'élève

de nouveau avec les vapeurs aqueuses dans les régions supérieures de l'atmosphère.

Ce jeu des influences électriques est facile à comprendre, mais les faits sont-ils tous embrassés par la théorie de M. Peltier? Ne peut-on pas se demander ce que devient l'électricité positive fournie par les végétaux et par toutes les actions chimiques? Ne doit-on pas admettre qu'elle gagne les régions supérieures de l'atmosphère où l'on trouve constamment l'électricité vitrée?

Quelle que soit la valeur de ces questions, attestant que la théorie la plus avancée laisse des incertitudes dans l'esprit et semble ne pas relier rigoureusement entre eux tous les faits et toutes les expériences scientifiques, il n'en reste pas moins acquis qu'il s'opère constamment dans l'atmosphère des flux et reflux électriques qui ne sont pas sans analogie avec ceux des eaux de l'Océan.

Ces oscillations du fluide électrique dans l'atmosphère ont été heureusement résumées par Kæmtz [1]. « Au lever du soleil, dit-il, l'électricité atmosphérique est faible; elle continue à augmenter tant que le soleil s'élève et que les vapeurs s'épaississent dans les régions inférieures de l'atmosphère. Cette période croissante dure en été jusqu'à six heures ou sept heures du matin; au

(1) *Cours complet de Météorologie;* par L. F. Kæmtz, in-8° — Paris. 1843, page 338.

printemps et en automne, jusqu'à huit heures ou neuf heures; en hiver, jusqu'à dix heures ou midi. Peu à peu la tension atteint son *maximum;* pendant ce temps, les régions inférieures sont remplies de vapeurs, l'humidité de l'air augmente, et la tension hygrométrique est plus forte que le matin : dans la saison froide, il y a souvent du brouillard. Le plus souvent l'électricité décroît immédiatement après avoir atteint son *maximum*, d'abord rapidement, puis plus lentement : les vapeurs visibles des couches inférieures disparaissent, les brouillards se dissipent, l'asmosphère s'éclaircit, et les objets éloignés semblent se rapprocher du spectateur. Vers deux heures de l'après-midi, l'électricité atmosphérique est déjà très-faible et à peine plus forte qu'au lever du soleil; elle va en diminuant jusqu'à deux heures avant le coucher du soleil; en été, jusqu'à quatre, cinq ou six heures du soir; en hiver, jusqu'à trois heures. Son *minimum* dure plus long temps que son *maximum.* Dès que le soleil s'approche de l'horizon, elle commence à croître de nouveau, augmente très-sensiblement au moment du coucher du soleil, s'accroît pendant le crépuscule et atteint un second *maximum,* une heure et demie à deux heures après le coucher du soleil. Alors les vapeurs se forment dans les régions inférieures de l'air, l'humidité augmente, le serein tombe. Ce second *maximum* égale ordinairement celui du matin, mais il dure peu, et l'électricité diminue lentement jusqu'au lendemain matin. »

Ces notions sur les sources de l'électricité atmosphérique, sur les oscillations, les courants de ce fluide, les modifications par *influence* de l'électricité d'une nature en une électricité contraire, les mouvements constants, diurnes et nocturnes, les frottements perpétuels, les compositions et décompositions, tous ces faits peuvent nous expliquer la formation de l'Ozone atmosphérique, puisque l'oxygène de l'air se trouve constamment en contact avec l'électricité qui l'influence et le modifie, phénomène parfaitement d'accord avec les expériences directes qui démontrent, ainsi que nous l'avons déjà dit, que *l'air atmosphérique soumis à un courant électrique continu et invisible ou à une succession d'étincelles, donne de l'Ozone.*

Le fait général étant bien établi, il reste à étudier les variations imprimées à l'électricité par les saisons, l'état du ciel, la neige, la pluie, la diretion des vents, etc. Dans cette étude, nous serons heureusement servi par les précieuses recherches de M. Quetelet (1).

Ce physicien recommande, comme première condition pour bien observer, de se placer dans un lieu découvert et qui ne soit dominé par aucun monument ou par aucun objet voisin. Il résulte d'un grand nombre de recherches faites pour s'assurer des hauteurs que

(1) **Instructions sur l'électricité atmosphérique; par A. Quetelet.** (*Ann. météorolog. de la France pour* **1850. p. 161.**)

« *dans un lieu nullement dominé par les corps avoisinants, l'intensité électrique de l'air croît proportionnellement aux hauteurs.* »

Il est indispensable d'observer toujours à la même hauteur, car une différence d'élévation, même de quelques décimètres, donne déjà des différences de résultats très-sensibles, surtout quand la tension électrique de l'air est un peu forte.

M. Quetelet s'est servi, pour faire ses observations, de l'électromètre de Peltier, qu'il regarde comme plus avantageux que les autres et comme étant destiné à remplacer tous ceux qu'on a employés jusqu'à ce jour pour mesurer l'électricité de l'air.

Quand on veut faire usage de l'électromètre de Peltier, il faut remarquer avant tout que les degrés ne sont pas directement comparables entre eux; que pour passer du 60e au 61e degré par exemple, il faut beaucoup plus d'électricité que pour passer du 20e au 21e degré; et, en général, pour passer d'un degré au suivant, il faut d'autant plus d'électricité que l'angle d'écartement de l'aiguille indicatrice est plus considérable. Il convient donc de dresser préalablement *une table des degrés équivalents,* c'est-à-dire une table qui fasse connaître, pour chaque degré de l'électromètre, le nombre de degrés correspondants, estimés au moyen de la balance de Coulomb. Ainsi, un angle d'écartement de 12 degrés est représenté par 16 degrés de la balance de Coulomb;

et un angle d'écartement de 24 degrés est représenté par 60 degrés sur la même balance.

Quand on a construit avec soin une *table des degrés équivalents*, il est facile ensuite d'en faire la vérification; il est également facile de faire une table nouvelle pour un second électromètre, et d'établir une correspondance entre les deux tables, de manière que les indications des deux instruments deviennent comparables entre elles. Il faut employer à cet effet la méthode de de Saussure, qui consiste à opérer le partage de l'électricité.

Voici maintenant les résultats des observations faites à Bruxelles, par M. Quetelet, depuis le mois d'Avril 1844 jusqu'à la fin d'Octobre 1849. Ces observations se faisaient vers l'heure de midi; on n'a pas compris, avec intention, dans les calculs des moyennes, les valeurs observées dans des circonstances exceptionnelles de l'atmosphère, tels que les orages, par exemple.

Le premier tableau donne, d'une part, les moyennes mensuelles pour les degrés observés directement, et, de l'autre, les moyennes mensuelles pour les nombres équivalents ou pour les degrés ramenés à une même échelle.

MOIS.	MOYENNES DES DEGRÉS OBSERVÉS. 1844	1845	1846	1847	1848	MOYENNES.
Janvier.........	»	50°	50°	63°	50°	53°
Février.........	»	55	45	45	44	47
Mars...........	»	44	26	47	36	38
Avril...........	»	27	23	30	27	27
Mai............	»	26	19	21	18	21
Juin............	»	18	18	18	18	18
Juillet..........	»	21	14	18	22	19
Août...........	28°	27	22	6	24	21
Septembre.......	29	29	23	17	24	24
Octobre.........	31	42	26	30	32	32
Novembre.......	33	44	41	35	36	38
Décembre.......	46	53	57	48	45	50
Année.......	»	36	30	31	31	32

MOYENNES DE 1849.	MOYENNES DES NOMBRES PROPORTIONNELS.					MOYENNES.	DEGRÉS CORRESPONDANTS.
	1844	1845	1846	1847	1848		
39°	»	471	562	957	487	605	61
36	»	548	256	413	295	378	55
27	»	262	95	282	164	200	44
20	»	93	94	221	155	141	37
16	»	163	49	67	59	84	28
13	»	51	39	47	48	47	21
14	»	58	33	43	61	49	22
21	90	89	57	11	64	62	24
24	91	95	62	39	63	70	26
31	110	299	98	107	120	131	35
»	127	334	274	160	152	209	44
»	340	742	799	356	281	507	59
»	»	267 49°	202 44°	225 46°	162 39°	206 44°	38

Ce second tableau nous indique les *maxima*

MOIS.	MAXIMUM ABSOLU.				
	1844	1845	1846	1847	1848
Janvier........	»	65°	71°	77°	76°
Février.........	»	70	60	73	62
Mars...........	»	64	56	62	47
Avril...........	»	48	40	48	51
Mai............	»	41	33	41	40
Juin	»	48	30	34	36
Juillet..........	»	43	32	31	44
Août...........	36°	45	37	23	38
Septembre......	»	42	39	30	32
Octobre	48	67	55	48	54
Novembre.......	51	60	65	53	57
Décembre.......	67	73	74	66	65
Année.......	»	55	49	49	50

et les *minima* absolus de chaque mois.

MOYENNES.	MINIMUM ABSOLU.					MOYENNE.	MOYENNE DES MAXIMUM ET MINIMUM
	1844	1845	1846	1847	1848		
72°	»	32°	8°	38°	19°	24°	48°,0
66	»	28	0	23	11	18	42°,0
57	»	25	0	21	19	16	36°,5
47	»	10	0	0	8	5	26°,0
39	»	0	0	0	0	0	19°,5
37	»	0	3	0	0	1	19°,0
38	»	3	0	4	0	2	20°,0
36	4°	2	9	0	12	5	20°,5
36	»	15	8	0	0	6	21°,0
54	6	0	0	12	22	8	31°,0
57	13	24	18	11	9	15	36°,0
69	21	30	24	27	7	22	45°,5
51	»	15	6	11	9	10	30°,5

De quelque manière qu'on établisse le calcul, on reconnaît que :

1° L'électricité atmosphérique, considérée d'une manière générale, atteint son *maximum* en Janvier, puis décroît progressivement jusqu'au mois de Juin, qui présente un *minimum* d'intensité; elle augmente pendant les mois suivants jusqu'à la fin de l'année;

2° Le *maximum* et le *minimum* de l'année ont pour valeurs respectives, 605 et 47; en sorte que l'électricité, en Janvier, est treize fois aussi énergique qu'au mois de Juin.

La valeur moyenne de l'année est représentée par les valeurs que donnent les mois de Mars et de Novembre;

Les *maxima* et les *minima* absolus de chaque mois suivent une marche absolument analogue à celle des moyennes mensuelles; les moyennes de ces termes extrêmes reproduisent également la variation annuelle, bien que d'une manière moins prononcée.

Il suit de ce qui précède que la courbe des variations électriques a une marche à peu près inverse de celle des températures de l'air.

De l'électricité dans ses rapports avec l'état du ciel. — On a constaté depuis longtemps que l'électricité de l'air est plus intense par un ciel serein que par un ciel couvert, mais des observations rigoureuses n'avaient pas encore établi des rapports aussi exacts que l'ont fait les

recherches de M. Quetelet. Pour ne pas compliquer les résultats par des influences étrangères, on a omis les observations faites pendant des temps d'anomalies, tels que les orages, les neiges, les pluies, les brouillards. Voici le tableau qui résume ces recherches.

MOIS.	DEGRÉS D'ÉLECTRICITÉ.		NOMBRES PROPORTIONNELS.		RAPPORT DES PREMIERS NOMBRES.
	Ciel couvert	Ciel serein	Ciel couvert	Ciel serein	
Janvier...	268°	1133°	2,53	4,15	4,23
Février...	220	493	2,01	1,81	2,24
Mars.....	129	261	1,22	0,95	2,01
Avril.....	71	149	0,67	0,54	2,09
Mai......	46	63	0,43	0,23	1,39
Juin.....	36	37	0,34	0,16	1,03
Juillet....	41	35	0,38	0,13	0,85
Août.....	56	64	0,52	0,23	1,14
Septembre.	42	78	0,39	0,36	1,86
Octobre ..	75	168	0,71	0,62	2,24
Novembre.	109	226	1,03	0,83	2,04
Décembre.	181	571	1,71	2,09	3,15
Année..	106	273	1,00	1,00	2,56

Ce tableau met en évidence les résultats suivants :

1° Quel que soit l'état du ciel, l'électricité de l'air présente un *maximum* en Janvier et un *minimum* vers le solstice d'été ;

2° La différence entre le *maximum* et le *minimum* est beaucoup plus sensible par les temps sereins que par les temps couverts ; dans la dernière circonstance, ces nombres sont 268 et 36, ce qui donne pour rapport 7 et demi environ.

Dans les temps sereins, le *maximum* de Janvier est de 1133°, et le *minimum* de Juillet 35° ; le rapport de ces nombres est 32, valeur considérable.

3° Pendant les différents mois, l'électricité de l'air a été plus forte par un ciel serein que par un ciel couvert, excepté vers les mois de Juin et de Juillet, où l'électricité atteint un *minimum* dont la valeur est à peu près la même, quel que soit l'état du ciel. A partir de cette époque, l'électricité de l'air, par un ciel serein, surpasse d'autant plus l'électricité observée par un ciel couvert, qu'on se rapproche d'avantage de Janvier ; et dans ce dernier mois, le rapport est de plus de 4 à 1.

Electricité pendant le brouillard, la neige ou la pluie. — La manifestation de l'électricité, au moment où l'un de ces phénomènes atmosphériques se produit, reste encore soumise à cette loi générale qui veut que l'électricité soit plus abondante l'hiver que l'été. D'après le tableau de M. Quetelet, le *maximum* de l'électricité

pendant le brouillard s'est élevé à 80 degrés, c'était au mois d'Octobre, puis viennent 74 pour Décembre, 67 pour Janvier et 0 pour Juin.

La quantité d'électricité manifestée pendant la neige se rapproche très-sensiblement de la quantité observée pendant les brouillards; son *maximum*, au mois de Novembre, a été de 84 degrés, puis viennent 65° en Janvier, 56 en Février et en Mars.

La pluie ne favorise pas au même degrés la manifestation de l'électricité, dont le *maximum* a été en Décembre de 48 degrés; en Septembre elle est tombée à 13 et en Juillet et Août à 0.

En somme, la valeur moyenne de l'électricité pendant une année a été de 64 pour le brouillard, de 64 pour la neige et de 33 seulement pour la pluie.

Il arrive fréquemment que l'électricité négative ou positive se produit pendant la pluie. D'après Schübler, il y a dans l'Allemagne méridionale 100 pluies positives pour 155 négatives; d'après les observations de Hemmer, à Manheim, on en compte 100 positives pour 108 négatives.

La direction des vents paraît exercer une influence sur la nature de l'électricité pendant la pluie. Schübler et Hemmer ont prouvé que le nombre des pluies positives est plus grand par les vents du nord qu'avec les vents du sud. Leurs observations prouvent encore que pendant le cours d'une année, la plupart des pluies sont

positives, tandis que dans une autre elles sont négatives.

Variations diurnes et nocturnes de l'électricité. — Si nous sommes parvenu à faire bien comprendre la théorie de M. Peltier, on admettra qu'il existe constamment dans l'atmosphère des courants électriques ascendants et descendants, déterminant des modifications du fluide et, par suite, des variations dans l'intensité de l'électricité. Déjà de Saussure avait trouvé, dans la période diurne, deux *maxima* qui suivent de quelques heures le lever et le coucher du soleil, et deux *minima* qui précèdent le lever et le coucher du même astre ([1]). Schübler a obtenu des résultats analogues; il a fixé pour le mois d'Août, les deux *maxima* à sept heures et demie du matin et à huit heures et demie du soir, et les époques des *minima* à deux heures de l'après-midi et à cinq heures du matin. ([2])

M. Quetelet a répété les observations sur les variations diurnes de l'électricité atmosphérique durant tout le mois d'Août 1842; il les a faites au moyen d'un électroscope à feuilles d'or de Peltier; le ciel était généralement serein et le temps calme. Il en a dressé le tableau suivant, en notant spécialement les 4 et 5 Août, jours pendant lesquels il a observé d'une manière à peu près continue.

(1) *Voyage dans les Alpes*, tome II, page 221.

(2) *Journal de Sweigger,* tomes III et VII.

HEURES DES OBSERVATIONS.	OBSERVATIONS DE L'ÉLECTROSCOPE. Le 4 Août	Le 5 Août	Observat. diverses.	MOYENNES DE LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE Au mois d'Août.
6 h. matin..	+ 2°	+ 32°	+ 17°	755,39 mm
7 — ..	17	37	27	»
8 — ..	30	42	36 Max.	5,60
9 — ..	17	37	27	5,67 max.
10 — ..	11	27	20	5,63
11 — ..	10	17	14	»
Midi.........	7	27	12	5,43
1 h. soir.....	6	13	10	5,35
2 —	2	8	5	5,21
3 —	1	6	3 Min.	»
4 —	2	»	5	4,98 min.
5 —	»	14	11	»
6 —	»	»	18	4,95
7 —	30	18	24	»
8 —	35	»	30	5,34
9 —	»	»	32 Max.	5,49
10 —	»	32	30	5,56 max.
11 —	14	»	19	»

M. Quetelet tire de ses propres observations les conclusions suivantes :

1° L'électricité de l'air, estimée à une hauteur toujours la même, subit une variation diurne qui présente généralement deux *maxima* et deux *minima ;*

2° Les *maxima* et les *minima* se déplacent d'après les différentes époques de l'année;

3° Le premier *maximum* arrive en été, avant huit heures du matin, et vers dix heures en hiver ;

4° Le second *maximum* s'observe après neuf heures du soir en été, et vers six heures en hiver;

L'espace de temps qui sépare les deux *maxima* est donc de plus de treize heures à l'époque du solstice d'été, et de huit heures seulement au solstice d'hiver;

5° Le *minimum* du jour se présente vers trois heures en été, et vers une heure en hiver.

Les observations ont été insuffisantes pour établir la marche du *minimum* de la nuit ;

6° L'instant qui présente le mieux l'état moyen électrique de la journée, dans les différentes saisons, arrive vers onze heures du matin.

Des orages et de la foudre. — Bien que l'électricité joue le plus grand rôle pendant les orages, il ne faut pas croire, cependant, que le nombre des orages soit en rapport avec la quantité d'électricité que manifeste l'atmosphère, il en est au contraire tout autrement. C'est pendant l'été, saison où la quantité d'électricité

atmosphérique présente un *minimum*, que l'on compte le plus d'orages, et l'inverse s'observe en hiver. Cependant il est incontestable que les orages, le tonnerre et la foudre sont de grands phénomènes météorologiques déterminés par l'électricité atmosphérique: Francklin, Volta et de Saussure avaient même positivement déclaré que les nuages récèlent, au moment des orages, les uns de l'électricité vitrée, les autres de l'électricité résineuse; d'où il résulte que les nuages chargés du même fluide se repoussent, et que ceux qui sont chargés de fluides contraires s'attirent et bientôt se confondent, mais ils ignoraient la loi qui préside à la manifestation de l'une ou de l'autre des électricités et par conséquent à la formation des orages.

Franklin et de Saussure prétendaient qu'un seul nuage ne saurait être orageux; cette assertion était le résultat de leur théorie; mais Bergman ayant vu la foudre tomber d'un très-petit nuage sur un clocher, tandis que le ciel était parfaitement clair, Duhamel du Monceau ayant été témoin du même phénomène, il a bien fallu admettre que l'opinion de ces savants était erronée: Arago [1] le reconnaît, mais en rapportant les faits, il s'abstient de toute explication; il n'en était pas de possible, en effet, lorsqu'on ignorait la loi des courants

[1] **Notice sur le Tonnerre**, par ARAGO. — *Annuaire des longitudes pour* 1838, pag. 232 et suiv.

ascendants de l'électricité atmosphérique. La théorie de M. Peltier est venue nous donner la solution de ces difficultés en nous faisant connaître que des colonnes d'air chargées d'une grande quantité d'électricité positive peuvent descendre vers la terre qui dégage toujours de l'électricité négative, et occasionner, dans des circonstances exceptionnelles, il est vrai, les phénomènes du tonnerre et de la foudre. Elle explique encore les véritables éclairs de chaleur, c'est-à-dire ceux qui ne sont pas dus à la réverbération de la lumière sur des couches atmosphériques, d'éclairs nés au sein d'un orage placé au-dessous de l'horizon, ainsi que le phénomène remarquable rapporté par Arago , et que lui avait signalé Hohzard comme un signe précurseur des orages. « Cet officier, dit Arago, a remarqué que, durant les grandes chaleurs, il se produit tout à coup, sur plusieurs points de la couche des nuages inférieurs, des soulèvements qui se prolongent comme de longues fusées verticales, et à l'aide desquelles des régions atmosphériques assez distantes, peuvent se trouver en communication immédiate [1].

Lorsque l'éclair se produit par suite de la combinaison des électricités contraires de deux nuages il y a *tonnerre*, c'est-à-dire bruit occasionné par la vibration de l'air ébranlé par le fluide électrique.

[1] Arago. — *id.* pag. 231.

Quand l'éclair est le résultat de la combinaison de l'électricité d'un nuage avec l'électricité contraire des corps placés à la surface de la terre la foudre éclate, ou, comme on le dit communément, *le tonnerre tombe.*

Ce phénomène se produit fréquemment, et ceux qui l'ont observé de très-près, parlent tous de l'odeur qui se développe instantanément dans les lieux foudroyés.

« Wafer, chirurgien de Dampier, raconte qu'en traversant l'isthme de Darien les ondées qu'il éprouvait étaient accompagnées *d'éclairs et de furieux coups de tonnerre, et qu'alors l'air était infecté d'une odeur sulfureuse capable d'ôter la respiration, surtout au milieu des bois* (1).

Cette comparaison a été faite et répétée par la plupart des observateurs. Lorsque le vaisseau anglais, le *Montague*, fut foudroyé, en 1749, il répandait une si forte odeur, dit Chalmers, qu'il paraissait *n'être qu'une masse de soufre.* On répéta la même comparaison à l'occasion du paquebot de 500 tonneaux, le *New-York*, frappé deux fois de la foudre dans la journée du 19 Avril 1827. Cependant de Romas se montra observateur plus exact en comparant l'odeur de la foudre à celle que dégagent les batteries électriques. Enfin les doutes seraient levés, si on hésitait encore à admettre que l'odeur nauséabonde et pénétrante de l'air traversé

(1) Arago. — *id.* pag. 300.

par la foudre est due à la formation de l'Ozone, par la déclaration de M. Buchwalder, ingénieur suisse que ses fonctions appelaient souvent sur les pics les plus élevés des Alpes. Se trouvant un jour sur le sommet du Senlis, près d'Appenzel, couché avec son domestique sous une petite tente dressée sur la neige, ils furent subitement enveloppés tous deux par la foudre, dont les éclats se portèrent dans toutes les directions. Le domestique fut tué sur le coup, et immédiatement après, la tente fut remplie d'une odeur très-forte et toute particulière. « Un jour, dit M. Schœnbein, qui rapporte cette observation intéressante, je reçus la visite de M. Buchwalder, au moment où j'expérimentais l'Ozone dont l'odeur remplissait mon laboratoire, et je ne fus pas peu surpris de lui entendre dire qu'il reconnaissait parfaitement l'odeur qu'il avait sentie sous sa tente au sommet du Senlis. [1] »

Ce qui est encore caractéristique, c'est la persistance de l'air ozonisé chimiquement, persistance qu'on retrouve lorsque le même phénomène a été produit par la foudre. Arago rapporte qu'en 1771, à l'Ile-de-France, Le Gentil, de l'Académie des Sciences, vit la foudre éclater sur un point très-peu éloigné de la galerie où il se trouvait alors, chez le comte de Rostaing. *Quatre heures après la détonation,* et quoiqu'il eût beaucoup

(1) *L'Union médicale,* page 82; 1853. Note de M. Schœnbein.

plu, Le Gentil et M. de Rostaing, en passant par hasard près du point foudroyé, *sentirent une odeur de soufre très-prononcée.*

Puisque ces faits démontrent que les orages contribuent à la formation d'une grande quantité d'Ozone atmosphérique, phénomène déterminé par la succession et par la puissance des étincelles électriques, on doit comprendre que l'opinion depuis longtemps accréditée que *les orages purifient l'atmosphère,* n'est pas une croyance vulgaire et sans fondement.

C'est encore à la formation rapide et énergique de l'Ozone pendant les orages qu'il faut rapporter *les modifications chimiques* qui s'opèrent dans l'air atmosphérique; la plus remarquable de ces modifications est la formation de l'acide nitrique (acide azotique).

Déjà Cavendish avait démontré expérimentalement que les deux éléments gazeux de l'air, l'oxygène et l'azote, peuvent se combiner sous l'influence d'une étincelle électrique, combinaison qui ne se produit, nous le savons aujourd'hui, qu'après la formation préalable de l'Ozone. Ce fait scientifique faisait présumer que la foudre devait produire le même phénomène dans l'air atmosphérique. La démonstration en a été donnée par le professeur Liebig, de Giessen, qui, en 1827, publia l'analyse de 77 résidus obtenus par la distillation de 77 échantillons d'eau de pluie recueillis dans des vases de porcelaine. Parmi ces 77 échantillons d'eau, 17 prove-

naient de pluies d'orages. L'eau de ces 17 pluies contenait de l'acide nitrique en plus ou moins grande quantité combinée à de la chaux ou à de l'ammoniaque. Dans les 60 autres échantillons de pluie, M. Liebig n'en trouva que deux dans lesquelles il existait des traces d'acide nitrique.

Ces faits viennent de conduire M. de Luca à préparer directement de l'azotate de potasse à l'aide de l'Ozone.

M. de Luca a fait passer très-lentement de l'air ozonisé humide pendant trois mois environ, (octobre, novembre et décembre 1855) principalement pendant la nuit, sur du potassium et sur de la potasse pure, et il a obtenu de l'azotate de potasse séparable des solutions alcalines par cristallisation. Le volume total de l'air employé était de 7000 à 8000 litres. L'air avant de s'ozoniser dans un grand flacon contenant du phosphore sous une couche d'eau, passait sur du coton cardé et dans un appareil, d'une forme particulière, à potasse et à acide sulfurique; il se débarrassait ainsi des matières en suspension et des substances azotées. (1)

De nombreuses questions restent encore à examiner en ce qui touche l'électricité atmosphérique; l'une des plus importantes serait l'appréciation des causes qui fa-

(1) *Compte-rendu de l'Acad. des sciences*, 31 décembre 1855, page 1251.

vorisent ou empêchent le développement des orages. On sait, par exemple, que les orages sont inconnus dans les déserts de l'Afrique, qu'ils sont extrêmement rares en Egypte et dans les mers polaires, tandis qu'ils sont très-fréquents sous l'équateur.

Cependant les habitants de Lima (Pérou) n'ont aucune idée du tonnerre, ils ne connaissent pas même les éclairs qui jamais ne sillonnent leur atmosphère souvent embrumée. [1] Il en est tout autrement sur le continent voisin de la Jamaïque, notamment à Popayan, où, au dire de M. Boussingault, il tonne presque tous les jours. Quant à nous, nous sommes dans cette zône électrique qui, large d'abord à l'ouest, passe par la France, l'Allemagne, la Pologne, et qui, en traversant St-Petersbourg, se rétrécit de plus en plus pour converger vers un point situé entre St-Petersbourg et la Sibérie où les orages disparaissent de nouveau : Scoresby ne mentionne pas une seule fois le tonnerre comme ayant été entendu dans les mers polaires.

L'énumération rapide de ces faits prouve évidemment qu'il existe des circonstances locales, encore inconnues, qui influent sur la fréquence des orages. Mais alors que devient l'Ozone? S'en produit-il dans les lieux où les grands phénomènes électriques ne se manifestent pas? Les expériences futures pourront seules résoudre les questions que la science n'a pas encore abordées.

(1) **Arago.** ***Annuaire*** **idem, page 387.**

MANIFESTATIONS DE L'OZONE ATMOSPHÉRIQUE.

L'étude de l'électricité répandue dans l'atmosphère devait nécessairement précéder nos recherches sur l'Ozone atmosphérique : comment, en effet, pourrions-nous sans cela, établir les rapports ou les dissemblances existant entre ces deux agents, préciser l'influence de l'électricité sur la formation des brouillards, de la neige, de la grêle, sur la production du tonnerre et des éclairs, découvrir enfin quelles sont les causes qui favorisent ou empêchent la production de l'Ozone?

Cette étude est très-vaste; c'est un champ tout nouveau à explorer. Les faits qu'on pourra recueillir présentent un intérêt et une importance qu'on ne saurait méconnaître; ils exciteront, sûrement, l'attention patiente et soutenue des médecins et des météorologistes.

Déjà, depuis plusieurs années, M. Schœnbein poursuit ses observations à Bâle; M. Wolf, professeur de physique à Berne, a publié quelques-unes de ses recherches; M. Simonin père fait, depuis 1853, des observations à Nancy; il en a publié une partie et il a bien voulu me communiquer celles qui sont encore inédites; M. Bérigny a présenté à l'Académie des Sciences de Paris quelques recherches qu'il a faites à Versailles;

M. Pouriau en fait à la Saulsaie, département de l'Ain; M. Decharmes continue à Amiens ses observations ozonométriques; le docteur Guillard en fait en Amérique; M. Grellois à Constantinople : on s'en occupe à Athènes [1], à Alger [2], en Italie, en Allemagne, et déjà plusieurs savants de ce dernier pays ont fait paraître des publications contenant leurs recherches à Munich, Kœnigsberg, Berlin, Vienne, etc.; on en fait encore dans tous les observatoires météorologiques de l'Autriche, et chaque jour voit surgir un travail nouveau contenant des observations recueillies dans des lieux divers, souvent fort éloignés les uns des autres.

Mais entre tous ces documents il faut distinguer ceux que fournit le docteur Théodore Bœckel qui, depuis le mois d'Avril 1853, note deux fois par jour, avec une patience scrupuleuse et infatigable, les variations ozonométriques du climat de Strasbourg : ce savant médecin complète son travàil par des relevés météorologiques comprenant les variations barométriques, thermométriques, hygrométriques, la direction des vents, les maladies régnantes et la mortalité de la ville.

Toutefois nous ne pouvons méconnaître que nous ne sommes qu'au début des recherches; que la plupart d'entre elles ont eu trop peu de durée, qu'elles sont in-

(1) Ἡ ἐν Ἀθήναις μέλισσα. — *Abeille médicale d'Athènes.* — Cahier de Février 1856.

(2) *Gazette médicale de l'Algérie.* — Janvier 1856.

suffisantes, incomplètes, qu'on en a tiré des conséquences trop promptes et par cela même souvent inexactes. Puis il faut regretter l'imperfection des moyens d'investigation donnant quelquefois des résultats variables ou infidèles; circonstances qui font vivement désirer qu'on arrive à posséder un instrument fonctionnant avec une régularité constante, et indépendante de l'habileté de l'expérimentateur; et que, si l'on est obligé de s'en tenir au papier ozonescopique, il soit au moins préparé avec soin par une fabrication spéciale, garantissant l'identité de la composition du papier et de la préparation chimique qui le pénètre et le recouvre.

Lorsque nous serons pourvus de bons instruments, nous serons certains alors que le temps et la multiplicité des observations, sous des latitudes et dans des climats divers, fourniront les données indispensables à un travail d'ensemble qui assignera à la question qui nous occupe sa véritable importance et son degré d'utilité.

Il résulte cependant des faits acquis que la découverte de l'Ozone est un véritable évènement météorologique et chimique; que le rôle de cet agent ne peut plus être méconnu dans une foule de phénomènes où son action n'était pas soupçonnée, et que, probablement, il grandira encore lorsqu'on connaîtra mieux sa puissance sur les miasmes telluriques et ses rapports avec le développement de quelques maladies et de certaines épidémies.

§ Ier.

Manifestation de l'Ozone en raison des hauteurs.

Arrivons maintenant à préciser les conditions qui favorisent ou empêchent les manifestations de l'Ozone.

Nous avons vu (p. 66), lorsque nous nous occupions de l'électricité que : « *dans un lieu nullement dominé par les corps avoisinants, l'intensité électrique de l'air croît proportionnellement aux hauteurs.* »

Pour nous assurer si cette loi est applicable à l'Ozone, nous avons fait des expériences comparatives à des hauteurs différentes sur la cathédrale de Metz. Le sommet du clocher de ce monument est à 121 mètres au-dessus du sol; mais nos expériences n'ont pas dépassé 100 m. Les bandelettes de papier ozonométrique, attachées à des bâtons qui les plongeaient dans l'air libre, étaient espacées de 20 mètres les unes des autres; la première à 20 mètres au-dessus du sol, la dernière à 100 mètres.

Voici un tableau (*voir le tableau n° 1.*) présentant jour par jour, les observations d'un mois; ces observations partent du 23 Mars et vont jusqu'au 22 du mois d'Avril; elles ont été prises ainsi parce qu'elles présentent des exemples de températures et de phénomènes météorologiques très-variables qui, rarement,

se réunissent dans un si court espace de temps (1).

Les observations du 23 Mars au soir, ont donné, à 20 mètres, 1 degré de l'échelle ozonométrique; à 40 mètres, 2 degrés, à 60 mètres, 5 degrés, à 80 mètres, 5 degrés, à 100 mètres, 6 degrés.

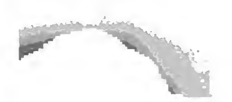
Le 14 Avril au soir, à 20 mètres, 2 degrés, à 40 m., 3 degrés, à 60 mètres, 8 degrés, à 80 mètres, 6 degrés, à 100 mètres, 10 degrés.

Ces rapports, qui se sont reproduits constamment, tendraient à démontrer que *la quantité d'Ozone atmosphérique, de même que l'électricité, croît proportionnellement aux hauteurs.* Mais il faut remarquer que cette proportion n'est pas régulière, qu'elle n'est ni arithmétique, ni géométrique, du moins en apparence, car les erreurs pourraient tenir à l'imperfection de l'instrument ou aux conditions dans lesquelles on le fait fonctionner.

Déjà M. Decharmes (2) avait fait des observations analogues en expérimentant sur la cathédrale d'Amiens,

(1) Sans vouloir donner comme type absolu le tableau des observations météorologiques journalières que nous avons présenté, nous pensons cependant qu'on doit peu s'en écarter. Lorsqu'on veut formuler une loi, ou seulement obtenir des résultats concluants, il faut rapprocher, grouper tous les éléments d'appréciation qui doivent concourir à porter un jugement. Aussi pour compléter ce tableau, il serait utile d'y joindre des observations régulières sur l'électricité atmosphérique; la difficulté des recherches ne nous a pas permis de combler cette lacune; nous le regrettons, car on ne peut se dissimuler l'imperfection de nos connaissances sur ce point important de la physique du globe.

(2) Decharmes. Ouv. cité. Page 10.



et il rapporte qu'il a vu constamment ses papiers présenter des teintes correspondant, en moyenne, aux numéros 0, 3, 4, 6 et 7 de l'ozonomètre, selon qu'ils avaient été placés au bas de la tourelle, à la première ou à la deuxième galerie, vers la partie élevée de la tourelle, et sur le sommet de la plus haute tour. Le *maximum* a suivi la même progression : 4, 6, 7, 9 et 10.

Il est regrettable que M. Decharmes n'ait pas mieux précisé la hauteur des points où il faisait ses observations; il en ressort néanmoins ce fait, c'est que la progression est constante, mais qu'elle n'est pas régulière. Ce résultat constaté, il fallait s'assurer si la progression est réelle ou apparente.

Pendant toute la durée des expériences sur la cathédrale de Metz, on en faisait d'autres beaucoup plus rapprochées de la surface de la terre. Ces expériences étaient divisées en trois catégories; 1° dans l'intérieur de la ville; 2° à l'extérieur; 3° au-dessus de l'eau.

1° *Dans l'intérieur de la ville.* Les bandelettes de papier étaient placées à 30 centimètres, à 1 mètre, à 5 mètres, à 10 mètres du sol. Depuis le 23 Mars jusqu'au 4 Avril les papiers, placés à ces hauteurs, ont constamment marqué 0.

Le 3 Avril, le temps change, le vent passe au sud-sud-ouest, et les réactions de l'Ozone se manifestent à 10 mètres. Le 6, le tonnerre se fait entendre, et les papiers les plus rapprochés du sol se colorent,

mais en conservant toujours une différence de teinte qui va croissant avec les hauteurs.

2° *A l'extérieur de la ville.* Le lieu d'observation était un des bastions de la fortification de la ville, ne renfermant aucune habitation, ni immondices ou fumiers ; le sol était couvert d'herbes; les bandelettes étaient élevées à la hauteur des précédentes.

La coloration de toutes ces bandelettes, élevées à 30 centimètres, à 1 mètre, à 5 mètres, à 10 mètres, a toujours été identique; donnant toutes, le même jour, matin et soir, 3, 5 ou 7 degrés, selon les conditions atmosphériques : ici toute influence de hauteur avait évidemment disparu.

3° *Au-dessus de l'eau.* Les expériences furent faites sur la Moselle, près d'un moulin, où l'eau était rapide, et sur l'un des fossés de la ville où l'eau était stagnante. Pour éviter les influences terrestres le bateau fut placé au milieu de la rivière. Les bandelettes de papier étaient à 25 et 50 centimètres de la surface de l'eau.

La coloration fut toujours très-prononcée; variable selon les jours, mais constamment plus élevée que celle des papiers placés à la hauteur de 100 mètres sur la cathédrale. Il y eut encore cela de remarquable, que les bandelettes placées au-dessus de l'eau stagnante du fossé furent toujours plus fortement teintées que celles mises au-dessus de l'eau courante.

La question concernant l'influence des hauteurs sur

l'existence de l'Ozone exigeait encore que l'on fît des expériences sur les montagnes. Déjà M. Schœnbein a constaté, par des expériences directes, que dans les montagnes du Jura, à des hauteurs de 1200 à 1800 pieds au-dessus de Bâle, le papier ozonoscopique donnait des degrés plus élevés que ceux qu'on obtenait dans la ville au même instant.

Mais ces assertions sont trop vagues pour qu'on en puisse rien conclure.

J'ai répété les expériences sur des montagnes du département de la Moselle, élevées de 800 et de 900 pieds au-dessus de la rivière, situées, les unes sur les bords de la Moselle, les autres dans la vallée du Rupt-de-Mat, et séparées par une distance de 40 kilomètres. On expérimentait en même temps sur la cathédrale de Metz.

Des bandelettes de papier mises sur le flanc de la montagne, à un mètre au-desssus du sol, n'ont donné que des nuances légères de coloration pendant les huit derniers jours du mois de Mars; elles se sont, au contraire, colorées très-sensiblement, à partir du 3 Avril, et elles ont atteint les numéros 6 et 7 de l'échelle lorsque le temps est devenu orageux.

Les bandelettes de papier placées au sommet des montagnes, et éloignées du sol par une perche de quatre mètres de hauteur, ont constamment donné des signes de réactions analogues à celles qu'on obtenait à 100 mètres sur le clocher de la cathédrale de Metz, soit dans les

temps calmes et sereins, soit dans les temps orageux.

Il résulte de ces expériences que, dans une ville populeuse, l'Ozone ne se manifeste pas, si ce n'est dans des circonstances exceptionnelles, à des élévations très-rapprochées du sol ;

Que la quantité d'Ozone augmente, à peu près proportionnellement à la hauteur, lorsqu'on s'élève sur un monument d'une ville.

Que sur le sommet d'une montagne, il suffit de s'élever de 3 ou 4 mètres au-dessus du sol, et quelquefois moins, pour obtenir des réactions égales à celles que donne le papier élevé à 80 ou à 100 mètres au-dessus du sol dans une ville ;

Que sur le flanc d'une montagne, les réactions se font moins facilement et sont subordonnées à toutes les influences locales ; fait qui doit avoir des relations intimes avec le développement du crétinisme si fréquent dans les vallées de la Suisse et qui cesse d'exister, ainsi que l'a constaté de Saussure, lorsqu'on s'élève à la hauteur de 1000 mètres.

Qu'au-dessus de l'eau courante ou stagnante, on trouve une quantité d'Ozone égale et quelquefois supérieure à celle des couches supérieures de l'atmosphère.

D'où il faut conclure que l'Ozone croît, diminue ou disparaît selon une foule d'influences locales ; que l'augmentation progressive de l'Ozone dans les couches supérieures de l'atmosphère n'est qu'apparente ;

Que dans la réalité, c'est l'Ozone qui diminue fréquemment dans les couches inférieures de l'air.

§ II.

Manifestation de l'Ozone au-dessus des nappes ou des cours d'eau.

Nos recherches sur l'électricité nous ont appris (p. 52) qu'au contact de la terre et d'une nappe d'eau ou d'un cours d'eau, il y a dégagement d'électricité; que la terre prend un excès notable d'électricité négative, et l'eau un excès correspondant d'électricité positive. Le même phénomène se produit à la surface des mers et des lacs où la vaporisation de l'eau est toujours accompagnée d'une désagrégation chimique des sels tenus en dissolution.

D'un autre côté nous savons que les surfaces aqueuses dégagent, surtout sous l'influence de la lumière, une quantité très-notable d'oxygène; le docteur Clemens, qui a publié un travail sur l'Ozone (1), a calculé que 33 centimètres de surface aqueuse dégagent 6 centimètres cubes d'oxygène par jour. Pour comprendre l'importance du phénomène, il suffit de se rappeler la vaste étendue des mers, des lacs et des rivières, et de l'opposer, comparativement, à la petite étendue des terres.

(1) *Henle's Zeitschrift für die Staatsarzneikunde* 1853. — Heft 1, pag. 1.

L'électricité et l'oxygène se trouvant ainsi en contact à l'état naissant, on comprend qu'il doit se former, dans ces conditions, une quantité très-notable d'Ozone : l'expérience directe le prouve. J'ai placé des bandelettes ozonométriques à 40 centimètres au-dessus d'un cours d'eau limpide, à fond de gravier, et j'ai obtenu, par un temps serein, à la température de + 2 centigrades, des réactions plus prononcées que sur d'autres papiers élevés de 15 mètres au-dessus du sol.

Le docteur Clemens a obtenu des résultats semblables. Le papier placé à 2 pieds au-dessus de l'eau marquait 4 degrés ozonométriques et 2 degrés seulement à 2 pieds au-dessus du sol.

Ces expériences furent également faites à Kœnigsberg par le Congrès médical (1) qui constata que la proximité de la mer ou d'un lac ne s'opposait pas à la manifestation de l'Ozone. On suspendit des bandelettes de papier sur les bords d'un lac stagnant et souvent fétide, et cependant, au grand étonnement des observateurs, on obtint des réactions ozoniques très-prononcées.

Cet étonnement n'aurait pas eu lieu si on eût connu les faits que nous avons rapportés et les explications que nous venons de donner. On peut, en effet, poser en principe que partout où des masses d'eaux existent, qu'elles soient pures, courantes, immobiles ou stagnantes,

(1) Schiefferdecker. — *Bericht* etc. Page 13.

il y aura formation d'Ozone; que ce corps se maintiendra aussi longtemps qu'il ne rencontrera pas d'agent de destruction, mais que s'il est mis en contact avec les gaz hydrogène sulfuré, hydrogène carboné ou phosphoré, il se combinera avec eux, les brûlera, les détruira et disparaîtra lui-même. Quand, au contraire, la production de l'Ozone l'emporte sur le développement des miasmes, il manifeste sa présence par des réactions chimiques.

Nous comprenons encore que l'Ozone, pouvant persister longtemps dans un point limité de l'atmosphère, comme nous l'avons prouvé en parlant des orages (p. 81), borne son action à ce lieu, tandis qu'à une très-petite distance, les circonstances locales le détruisant totalement, il ne donne aucun indice de sa formation ni de sa présence.

C'est donc une erreur de penser que l'existence de l'Ozone dans un espace limité de l'atmosphère doive avoir pour conséquence la présence de ce même corps dans un espace plus éloigné; cela n'est vrai que lorsqu'on s'élève à une assez grande hauteur au-dessus du sol et qu'on se soustrait ainsi à l'action destructrice des miasmes telluriques.

D'ailleurs, lorsque nous aurons fait connaître les véritables sources de l'Ozone; lorsque nous aurons expliqué les causes qui favorisent, ralentissent ou empêchent a formation de ce corps, on comprendra sans com-

mentaires et sans explications nouvelles toutes les anomalies qu'il semble présenter dans sa manifestation.

§ III.

Variations diurnes et nocturnes de l'Ozone.

Avant de nous livrer aux recherches qui nous permettront d'apprécier les variations diurnes et nocturnes de l'Ozone, il est nécessaire de nous rappeler la loi qui règle les mouvements journaliers et périodiques de l'électricité atmosphérique. Nous avons démontré que l'électricité, faible d'abord le matin, augmente progressivement tant que le soleil s'élève et que les vapeurs s'épaississent dans les régions inférieures de l'atmosphère; que, peu à peu, la tension augmente jusqu'à ce qu'elle atteigne son *maximum*; qu'alors elle décroît rapidement; qu'elle commence à augmenter de nouveau au moment du coucher du soleil, et qu'elle finit par atteindre un second *maximum*, une heure et demie ou deux heures après le coucher de cet astre (1).

L'électricité, ayant deux *maxima* dans une même journée, est donc plus abondante lorsque le soleil est sur l'horizon que lorsqu'il en a disparu.

L'Ozone obéit-il aux mêmes lois? les faits vont répondre.

(1) Voir pag. 64 et 76.

OBSERVATIONS OZONOMÉTRIQUES

De M. Simonin, père, faites à Nancy.

MOIS.	ANNÉE 1853. MOYENNES.		ANNÉE 1854. MOYENNES.		ANNÉE 1855. MOYENNES.	
	Matin.	Soir.	Matin.	Soir.	Matin.	Soir.
Janvier .	»	»	5,30	2,80	5,26	2,20
Février .	»	»	6,80	5,30	5,71	3,10
Mars. . .	»	»	3,80	5,30	5,38	6,00
Avril . . .	5,93	6,66	4,80	8,10	5,93	6,73
Mai	5,71	6,71	7,40	7,90	»	»
Juin. . . .	5,53	6,37	7,30	7,90	»	»
Juillet . .	4,45	5,42	5,90	7,30	»	»
Août . . .	4,30	4,74	4,50	7,50	»	»
Septemb.	5,23	5,80	2,60	5,60	3,05	7,00
Octobre.	3,90	4,32	3,70	5,10	5,00	6,56
Novemb	3,50	0,93	5,30	3,30	3,80	2,21
Décemb.	5,16	1,58	6,20	4,22	5,35	2,61

Remarques. — Les observations ozonométriques n'ont commencé qu'au mois d'Avril 1853.

Les observations ozonométriques n'ont pas été faites pendant les mois de Mai, Juin, Juillet, Août 1855.

Il résulte de ces observations :

1° Qu'en 1853, les moyennes du jour ont été plus élevées que celles de la nuit 7 fois sur 9;

2° Qu'en 1854, les moyennes du jour ont été plus élevées que celles de la nuit 8 fois sur 12;

3° Qu'en 1855, les moyennes du jour ont été égales en nombre à celles de la nuit;

4° Qu'en somme, sur 29 mois d'observations faites à Nancy, l'ozonomètre a donné 19 fois des moyennes plus élevées le jour que la nuit, et 10 fois on a constaté le contraire.

Nous complétons ces recherches par la publication du tableau contenant toutes les observations météorologiques faites à Nancy en 1854 *(voir le tableau n° 2)*.

Au mois de Février 1852, la société de médecine de Kœnigsberg excitée par les faits intéressants contenus dans le mémoire du professeur Schœnbein, inséré dans le journal de Henle et Pfeuffer, décida qu'une commission spéciale, prise dans son sein, serait chargée de faire des observations ozonométriques dans les divers quartiers de la ville et dans les lieux environnants, afin de constater si l'Ozone atmosphérique exerce une influence appréciable sur le développement des maladies régnantes.

Cette commission, divisée en sept sections, fonctionna assez régulièrement; cependant quelques-unes firent des interruptions qui rendirent leur travail incomplet. Les observations étaient notées chaque jour, matin et soir : des tables furent dressées et elles sont insérées dans l'ouvrage que nous avons cité (1). Nous avons dépouillé

(1) Schiefferdecker. — *Bericht und Tabelle*. I, II, III. P. 28 à 33.

ce travail et nous en avons extrait les chiffres suivants, résultant des recherches de la section n° 2 qui opérait dans un des faubourgs situé dans la partie basse de la ville; l'ozonomètre était suspendu à l'ouest, à 15 pieds au-dessus du sol, dans une cour ouverte.

OBSERVATIONS OZONOMÉTRIQUES

faites à Kœnigsberg, à partir du mois de Juin 1852 *jusqu'à la fin de Mai* 1853, *depuis* 6 *heures du matin jusqu'à* 6 *heures du soir, pendant les mois de Juin, Juillet, Août et Septembre* 1852*; Avril et Mai* 1853, *et depuis 7 heures du matin jusqu'à 7 heures du soir pendant les mois d'Octobre, Novembre et Décembre* 1852, *et Janvier, Février et Mars* 1853.

MOIS.	ANNÉE 1852. MOYENNES.		MOIS.	ANNÉE 1853. MOYENNES.	
	matin.	soir.		matin.	soir.
Juin......	3 1/3	2 2/3	Janvier...	5 1/3	4 1/2
Juillet.....	2 2/3	2 1/8	Février...	5 3/4	5 1/9
Août......	2 1/2	2 1/3	Mars.....	6 2/3	5 2/3
Septembre.	4 »	2 1/2	Avril.....	7 »	5 1/2
Octobre...	4 7/8	3 2/3	Mai......	5 1/3	4 »
Novembre.	4 1/4	3 1/2			
Décembre.	6 1/4	5 1/8			

Il résulte de ces observations que, pendant ces douze mois, les moyennes de la nuit ont été constamment plus élevées que celles du jour.

En prenant les résultats des observations mensuelles des sept sections, on obtient 84 additions pour les observations du matin et 84 pour les observations du soir; sur ces nombres, six fois seulement les observations du jour ont donné des moyennes plus élevées que celles de la nuit; mais en formant un total de tous les chiffres donnés par chacune des sections, on trouve que toutes les moyennes de la nuit, formées du chiffre de chacune des sections l'emporte, sans exception, sur celles du jour.

Nous ne possédons qu'un très-petit nombre d'observations ozonométriques faites à Alger, elles donnent aussi les moyennes du matin plus élevées que celles du soir (1).

(1) *Gazette médicale d'Alger*, n° 1, Janvier 1856.

OBSERVATIONS OZONOMÉTRIQUES

faites à Alger en 1855 de 5 heures du soir à 7 heures du du matin et de 7 heures du matin à 5 heures du soir.

Octobre.		Novembre.		Décembre.	
MOYENNE		MOYENNE		MOYENNE	
matin.	soir.	matin.	soir.	matin.	soir.
7,5	5,5	6,1	5,1	5,9	5,5

Les observations ozonométriques faites à Constantinople ne donnent pas, malheureusement, les moyennes du matin et du soir.

Les observations ozonométriques faites à Metz depuis le mois d'Octobre 1855 jusqu'à la fin d'Avril 1856 ont donné, cinq fois, les moyennes du matin plus fortes que celles du soir.

Nous voici arrivé aux observations de M. Bœckel; ce sont les plus nombreuses et les plus suivies que nous possédions. Afin de compléter le travail, nous avons

dressé trois tableaux (*voir les tableaux nos* 3, 4, 5,) résumant en même temps toutes les observations météorologiques du climat de Strasbourg.

OBSERVATIONS OZONOMÉTRIQUES

de M. Bœckel, faites à Strasbourg.

MOIS.	ANNÉE 1853. MOYENNES		ANNÉE 1854. MOYENNES		ANNÉE 1855. MOYENNES	
	matin.	soir.	matin.	soir.	matin.	soir.
Janvier. . .	»	»	5,35	2,71	5,50	2,13
Février . . .	»	»	7,00	5,75	6,70	2,10
Mars.	»	»	3,50	3,33	5,50	4,60
Avril.	5,83	6,50	4,50	4,50	3,70	2,26
Mai.	5,70	6,60	5,00	3,33	5,00	4,00
Juin.	4,50	6,25	4,60	3,86	3,60	3,80
Juillet	4,00	6,50	3,00	2,00	2,84	2,80
Août.	4,13	6,16	1,60	0,70	1,84	2,13
Septembre.	3,60	4,83	3,30	1,60	1,75	1,53
Octobre. . .	3,00	3,50	3,15	2,65	3,07	2,15
Novembre.	1,60	0,52	4,65	2,35	2,67	1,40
Décembre .	4,00	2,00	6.87	4,58	6,30	2,84

Remarque. — Les observations n'ont commencé qu'au mois d'avril 1853.

Il résulte de ces chiffres :

1° Qu'en 1853 les moyennes du jour ont été plus élevées que celles de la nuit 7 fois sur 9.

2° Qu'en 1854 les moyennes du matin l'ont emporté 11 fois sur celles du soir, et qu'une fois, au mois d'Avril, il y a eu égalité, matin et soir;

3° Qu'en 1855 les moyennes du matin l'ont emporté 10 fois sur 12 sur celles du jour;

En résumé, que sur 33 observations, l'ozonomètre a donné 23 moyennes plus élevées le matin que le soir, et 10 moyennes plus élevées le soir que le matin.

Si nous groupons maintenant tous ces résultats nous trouvons :

	Moyennes plus élevées le matin que le soir.	Moyennes plus élevées le soir que le matin.
Nancy	10 fois.	19 fois.
Kœnigsberg	12	0
Alger	3	0
Metz	5	2
Strasbourg	23	10
Total	53	31

Il ressort évidemment de ces chiffres que les manifestations de l'Ozone, dans les conditions où les observateurs se sont placés, ont été fort irrégulières; que, pendant une année, à Nancy, la moyenne du soir l'a constamment emporté sur celle du matin, tandis qu'à Kœnigsberg le contraire s'est manifesté; qu'il y a eu

des alternatives à Strasbourg, Metz et Nancy, mais que la somme des observations démontre que la moyenne du matin l'emporte sur celle du soir.

Mais hâtons-nous de remarquer que toutes ces observations ne sont pas parfaitement comparables entre elles; que les unes ont été faites dans des villes, les autres dans la campagne, dans des lieux divers, plus ou moins heureusement choisis, et que des causes nombreuses pouvaient influer sur les résultats obtenus. Il fallait éviter ces causes d'erreurs; dans ce but, j'ai fait des observations à la campagne, sur un petit monticule élevé de dix mètres au-dessus du sol environnant, éloigné d'habitations et de toute cause d'insalubrité, je les ai comparées à celles faites sur la cathédrale de Metz et les résultats ont été les suivants :

1° Par un ciel serein et calme, quelle que soit la température, l'Ozone réagit sur les papiers plus fortement la nuit que le jour.

2° Certains phénomènes météorologiques peuvent troubler cette loi et faire apparaître plus d'Ozone le jour que la nuit; il suffit pour cela du passage du vent du nord au sud-ouest, d'un orage ou de la chûte de la neige;

3° Il n'est pas rare de trouver dans une ville plus d'Ozone le jour que la nuit, tandis que le contraire se manifeste à la campagne ou sur un monument très-élevé au-dessus du sol, le même jour et dans les mêmes conditions atmosphériques apparentes.

Si l'on rapproche maintenant ces résultats de la marche de l'électricité atmosphérique, on sera conduit à conclure que la loi qui préside à ses oscillations n'est pas la même que celle qui détermine les variations diurnes et nocturnes de l'Ozone; qu'ainsi l'électricité est plus forte le jour que la nuit; qu'elle augmente et décroît assez régulièrement et qu'elle présente deux *maxima* et deux *minima* dans la journée.

L'Ozone, au contraire, se manifeste plus fortement la nuit que le jour, il n'a rien de régulier ni d'absolu dans sa marche, et comme toutes les combinaisons chimiques, il augmente, diminue ou disparaît en raison des conditions qui favorisent ou s'opposent à son développement et à sa manifestation. Ces faits apparaîtront d'ailleurs avec plus de clarté et de précision à mesure que nous avancerons dans l'étude de ce corps.

§ IV.

Manifestations de l'Ozone selon les états du ciel.

Les observations météorologiques étant présentées, en général, sous forme de résumé donnant les moyennes d'un mois, il est presque impossible de se servir des données fournies par les tableaux insérés dans cet ouvrage pour constater l'influence des phénomènes atmosphériques journaliers sur la production de l'Ozone;

il ne suffit même pas de constater l'état du ciel à un jour donné pour apprécier avec exactitude la quantité d'Ozone contenue dans l'air atmosphérique; il faut tenir compte des conditions météorologiques qui ont précédé cet état. C'est cette absence de corrélations qui a jeté les observateurs dans des contradictions formelles; les uns affirmant que par un temps serein il y a beaucoup d'Ozone, les autres déclarant au contraire qu'il y en a fort peu.

M. Bérigny affirme [1] que *la quantité d'Ozone est souvent en opposition avec le degré de sérénité du ciel, et que, fréquemment, plus le degré de sérénité du ciel est faible, plus celui de l'Ozone est considérable.*

M. Decharmes déclare [2] *qu'en général l'Ozone est d'autant plus abondant que le degré de sérénité du ciel est plus faible;*

Qu'enfin l'Ozone suit la même progression que l'électricité atmosphérique et que les courbes qui représentent graphiquement la marche de ces deux éléments sont à peu près parallèles.

M. Pouriau [3] met au nombre des causes qui favo-

(1) *Recueil de mémoires de méd. et de chirurg. milit.* — Ouvr. cit. Pag. 444.

(2) Ouvr. cit., pag. 8.

(3) *Compt. rend. de l'Acad.,* 7 Avril 1856, pag. 640.

risent l'intensité de l'Ozone, *le froid, l'humidité, la fréquence des pluies à intervalles de temps à peu près réguliers.*

Les observateurs de Kœnigsberg sont les seuls, à ma connaissance, qui aient publié des tables comprenant des annotations journalières sur le baromètre, le thermomètre, l'humidité de l'air, la pluie, la neige, la direction des vents, leur force et l'état ozonique de l'air : il résulte de leurs recherches qu'en prenant les moyennes pour douze mois on arrive aux résultats suivants (1).

Manifestation de l'Ozone	aux beaux jours...	6,9
	aux jours de pluie.	8,9
	aux jours de neige.	10,1

Le professeur Wolf, de Berne, est arrivé à des résultats analogues, mais en trouvant pour les beaux jours, une moyenne ozonométrique qui ne s'élève qu'à 4,86.

Avant d'exposer nos observations personnelles, rappelons d'abord les lois de l'électricité (*voir le tableau* pag. 73).

Sous un ciel couvert, en Janvier, l'électricité donne 268°; sous un ciel serein 1133°; au mois d'Août 56° par un ciel couvert, 64° par un ciel serein; en somme la moyenne de l'année donne 106° par un ciel couvert et 273° pour un ciel serein.

(1) Schiefferdecker. *Bericht* etc., pag. 19, et *Tabelle* pag 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41.

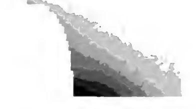
Les manifestations de l'Ozone présentant des rapports tout opposés, c'est donc à tort qu'on a avancé qu'il est indubitable que « *la courbe de l'Ozone est presque parallèle à celle de l'électricité atmosphérique.* »

Voici le résumé de nos observations personnelles.

La quantité d'Ozone varie, *par un ciel serein*, selon le degré de sécheresse de l'air; il peut donc y avoir beaucoup ou très-peu d'Ozone selon que les observations sont faites après la pluie ou longtemps après qu'elle a tombé. Nous avons constaté (*voir le tableau n° 1*) que, dans les derniers jours du mois de Mars 1856 le ciel était serein, la température souvent au-dessous de zéro, l'air très-sec et l'Ozone nul dans les couches inférieures de l'atmosphère.

Le 3 Avril le thermomètre s'élève, la pluie tombe, l'Ozone reparaît. Le 5, la pluie est abondante; le 6, le tonnerre gronde, l'Ozone arrive au *maximum* de l'échelle. Jusqu'au 15 Avril le ciel est souvent couvert, les vents restent au sud, sud-ouest ou sud-est, et l'Ozone continue à manifester sa présence, mais en faiblissant un peu.

Le 16 avril le vent passe au nord, le ciel redevient clair et serein, la sécheresse de l'air augmente progressivement et l'ozone diminue dans le même rapport, mais seulement dans les couches d'air en contact avec la terre, car les expériences faites au-dessus de l'eau, et très-près de sa surface, me donnaient des réactions ozoniques très-prononcées.



Le 24 avril, à quatre heures après midi, le vent passe tout à coup au sud; il souffle avec violence, des tourbillons de poussière s'élèvent, le tonnerre gronde pendant plus d'une demi-heure, mais, chose remarquable, il ne tombe pas de pluie, excepté cependant quelques gouttes d'eau qui furent observées à des distances éloignées. Ces phénomènes météorologiques me firent supposer que le papier ozonométrique indiquerait des réactions très-prononcées; il n'en fut rien. Mais le 27 avril la pluie tombe avec abondance et les réactions ozoniques prennent une grande intensité dans toutes les régions de l'air.

Le 28 avril, je fais placer des bandelettes de papier réactif sur des prairies, des champs cultivés, des montagnes, sur la cathédrale de Metz et sur des cours d'eau, et partout j'obtiens des réactions qui atteignent les degrés les plus élevés de l'échelle ozonométrique.

La conclusion de ces expériences est que l'état de sérénité du ciel n'est qu'une cause indirecte de la diminution ou de l'absence de l'Ozone; que la cause directe est la sécheresse de l'air, et comme cet état coïncide souvent avec les vents secs de l'est ou du nord-est, la formation de l'Ozone est entravée lorsqu'ils durent longtemps.

La neige et la grêle coïncident constamment avec une augmentation d'ozone dans l'atmosphère. Tous les observateurs ont constaté qu'un abaissement de tempé-

rature, surtout un abaissement subit, est favorable à la formation de l'Ozone, L'expérience l'a parfaitement prouvé à M. Decharmes, le 26 novembre 1855; à M. Bœckel, dans le mois de Janvier de la même année, et aux expérimentateurs de Kœnigsberg dans l'hiver de 1852-53.

La pluie et les brouillards déterminent des effets divers, selon les conditions dans lesquelles ces phénomènes se produisent. Si la pluie survient après un orage, qu'il y ait des éclaircies et des retours de pluie, le papier ozonoscopique éprouvera de fortes réactions; c'est ce que j'ai plusieurs fois observé, notamment le 27 avril 1856 ; cette observation est confirmée d'ailleurs par tous les expérimentateurs, notamment par M. Bœckel : « c'est ainsi, dit-il, que le 11 mai 1855, où il a plu le matin, où le temps a été variable à midi et serein le soir, la somme de l'Ozone a été de 16 degrés. »

Lorsqu'au contraire la pluie est fine, continue, la température atmosphérique peu élevée, il y a peu d'Ozone; il en est de même avec les brouillards. Le mois d'octobre 1853 a été caractérisé, à Strasbourg, par une humidité extrême et beaucoup de brouillards. L'humidité a été telle que l'hygromètre a marqué six fois l'extrême degré des vapeurs répandues dans l'air. Les brouillards de trois jours ont produit un dépôt de 2 millim. 08 d'eau dans l'udomètre; le brouillard

du 24 a fourni à lui seul la moitié de ce précipité. Les brouillards se sont élevés à environ 500 mètres. Passé cette hauteur, le soleil a été constamment chaud et resplendissant. Au vieux château de Baden, sur les hauteurs de Saverne, on s'est trouvé exposé au plus beau soleil pendant que les habitants de la plaine étaient plongés dans un bain de vapeurs froides.

Avec les forts brouillards l'ozonomètre a le plus souvent marqué zéro. Dès que les brouillards se sont dissipés, le papier réactif a exhibé une teinte bleue plus ou moins foncée (Bœckel). Les mêmes phénomènes se sont reproduits en Novembre et l'ozonoscope est encore resté à zéro.

Mais il en est tout autrement si le brouillard est sec et s'il se dissipe rapidement.

Les *orages* produisent constamment une grande quantité d'Ozone; les pluies abondantes qui les suivent fournissent, comme nous l'avons vu, une notable quantité d'acide azotique. M. Schœnbein et tous les observateurs confirment ce fait; cependant les expérimentateurs de Kœnigsberg font remarquer que sur six orages observés en Juin, Août et Septembre 1852, il n'y en eut que deux qui donnèrent une augmentation considérable d'Ozone; ce furent ceux du 24 Juin et du 11 Septembre; mais l'Ozone n'augmenta très-sensiblement que le lendemain 25 Juin et 12 Septembre; il passa de 2,5 à 9,5 degrés. (*Bericht*, pag. 21 et Tabel : v–vi).

Ces particularités s'expliqueront facilement lorsque nous aurons démontré qu'il faut un certain temps pour opérer le refroidissement de l'atmosphère, condenser les vapeurs et les rapprocher de la terre.

Si les orages sont secs, comme celui que nous avons observé le 24 avril 1856, ou s'ils ne fournissent que très-peu d'eau, le refroidissement de l'atmosphère n'a pas lieu; l'air reste sec et l'ozone ne manifeste que faiblement sa présence.

§ V.

Manifestation de l'Ozone selon la direction et la force des vents.

Le professeur Wolf, de Berne, a donné comme moyenne, d'après ses observations, l'échelle ozonométrique suivante, répondant à la direction des vents :

N-O.	N-O, O-S.	S.	S-O. O, N-O.
8,4	6,8	9,4	12,2

On ne peut se dissimuler que ces remarques peuvent donner lieu à beaucoup d'objections. Comment, en effet, séparer l'action du vent de l'influence de l'humidité ou de la sécheresse? Les vents d'E. et de N.-E., dans nos climats, sont constamment secs et plus ou moins froids; les vents du sud et du sud-ouest sont chauds et humides, et déjà nous avons signalé l'action de ces conditions atmosphériques sur

la formation de l'Ozone; il n'est donc pas possible de leur enlever la part que nous leur avons attribuée, d'après l'observation des faits, pour la reporter à la direction des vents.

Il n'en est pas de même de la *force des vents*; ici on constate un effet physique facile à comprendre: lorsque le vent est violent, il soulève la bandelette de papier et la tient dans une direction à peu près horizontale ou la fait tournoyer si elle est appendue à un fil; l'air ozonisé glisse avec rapidité et n'a pas le temps d'exercer sa réaction sur l'iodure de potassium. aussi le papier ne se colore-t-il pas, ou bien si quelque effet se produit, c'est avec irrégularité et dans des points plus ou moins éloignés les uns des autres. Ce qui démontre l'exactitude de cette assertion, c'est que si vous protégez le papier en l'abritant contre une muraille, la réaction s'opère facilement; la violence du vent est donc un obstacle à l'action de l'Ozone sur le papier ozonométrique. Ajoutons que la rapidité du vent favorise la vaporisation de l'iodure de potassium, surtout lorsque l'air est humide, ce qui détruit la coloration bleue du papier.

§ VI.

Manifestations de l'Ozone selon la température atmosphérique.

Plusieurs observateurs n'ont pas hésité à formuler

comme loi que « *l'Ozone diminue quand la température s'élève.* »

Cette assertion est encore évidemment le résultat des préoccupations qni portaient à admettre que les manifestations de l'Ozone et celles de l'électricité étaient analogues et presque identiques. Voyons ce qu'indiquent les faits.

En reprenant les chiffres contenus dans nos tableaux des *variations ozoniques nocturnes et diurnes* (*pag.* 99, 101, 103, 104, 105,) et en groupant les mois selon les trois températures : 1° *froide,* 2° *chaude,* 3° *tempérée,* on obtient les résultats suivants *(voir le tableau n°* 6).

Si nous groupons maintenant ces chiffres pour avoir la somme des degrés donnés par l'hiver, et celle des degrés fournis par l'été, si nous les partageons en deux catégories, l'une présentant les hivers plus forts que les étés, l'autre, les conditions inverses, nous trouvons :

Etés plus forts que les hivers.

	Hivers.		Etés.
Nancy 1853-54	31,37	Nancy 1853	43,25
Nancy 1854-55	37,09	Nancy 1854	55,70
Sommes des moyennes.	68,46		98,95
Strasbourg 1853-54	28,93	Strasbourg 1853	43,84
Somme totale	97,39		142,79

Hivers plus forts que les étés.

Hivers.		Etés.	
Kœnigsberg 1852-53.	39,82	Kœnigsberg 1852-53.	25,33
Strasbourg 1854-55.	34,88	Strasbourg 1854-55.	29,09
Somme totale.....	74,70		54,42

Ainsi sur cinq observations, les étés l'ont emporté trois fois sur les hivers dans le rapport de 1,00 : 1,51, et les hivers deux fois sur les étés dans le rapport de 1,00 : 0,72.

Si nous réunissons les sommes de tous ces chiffres, nous trouvons :

	Hivers.	Etés.
	95,39	142,79
	74,70	54,42
Total....	170,09	197,21

ce qui donne pour rapport définitif, en faveur des étés comme 1,00 : 1,15.

La conclusion de ces rapprochements est que :

1° Sur trois observations d'hiver et sur trois observations d'été, les chiffres des derniers l'ont emporté considérablement sur ceux des premiers, puisqu'il y a moitié en leur faveur ;

2° Que sur deux observations d'hiver concordant avec les mois d'été des mêmes années, les chiffres des hivers l'ont emporté faiblement sur ceux des étés, c'est-à-dire dans le rapport d'un tiers seulement ;

3° Que la somme totale des chiffres donnés par l'échelle ozonométrique pour les cinq observations d'hiver et les cinq observations d'été ont été en faveur de ces derniers ;

4° Que pendant la saison tempérée, les observations ozonométriques ont donné des chiffres intermédiaires entre ceux de l'été et ceux de l'hiver;

Qu'en conséquence les manifestations de l'Ozone n'obéissent pas aux lois de l'électricité atmosphérique.

§ VII.

Manifestation de l'Ozone dans les villes.

Les observations ozonométriques faites dans les villes ne peuvent avoir qu'une importance relative tenant au choix de la localité et aux influences exercées par les causes environnantes.

On peut faire deux sortes d'expériences : les unes positives, les autres négatives. Pour les premières il faut se mettre dans des conditions favorables à la manifestation de la quantité réelle d'Ozone contenue dans l'atmosphère; pour cela on doit se placer sur un monument, ou au moins sur une maison isolée, dans un des quartiers les plus élevés de la ville;

Pour les secondes on peut adopter tous les lieux

qu'on désire soumettre à l'observation. Voici ce que nos recherches nous ont démontré.

Dans la rue *Tête-d'Or,* l'une des plus fréquentées de la ville de Metz, des observations furent faites assidûment, matin et soir, avec du papier fourni par le fabricant de M. Schœnbein ; elles durèrent six mois, depuis le mois d'octobre 1855 jusqu'au mois d'avril 1856. Cette rue est étroite, un égoût existe au commencement ; les observations étaient faites à quinze mètres au-dessus du sol, et à une distance de 25 mètres de l'égoût. Pendant ces six mois le papier ozonométrique ne s'est coloré que quatre fois ; la première, le 2 octobre, le papier a marqué 8 degrés par le vent d'ouest, petite pluie ; la deuxième le 7 novembre, 7 degrés vent du nord, brouillard ; la troisième le 25 décembre, 7 degrés vent du nord, pluie ; enfin la quatrième le 29 du même mois, 2 degrés, vent du sud, ciel couvert.

Voilà, évidemment, un exemple frappant de l'influence exercée par les émanations ammoniacales et autres sur l'air atmosphérique. Dans le même moment nous faisions d'autres expériences à la fenêtre de notre appartement, exposé au midi, au-dessus d'un jardin, et élevé de dix mètres au-dessus du sol. Presque constamment, chaque jour, matin et soir, nous obtenions des réactions ozoniques plus ou moins fortes.

Un autre poste d'observation était établi à l'hôpital

militaire, bâtiment isolé, à vingt mètres de la rivière. Les réactions y étaient très-prononcées, souvent elles atteignaient 8 et 10 degrés.

Ces expériences, répétées dans plusieurs quartiers et dans plusieurs rues, ont constamment donné des différences très-prononcées.

Les expérimentateurs de Kœnigsberg ont obtenu les mêmes résultats : dans la station XII, au mois de juin, ils avaient à la fin du mois, par l'addition des chiffres journaliers, le nombre de 205 degrés ; dans la station II, 79 degrés et dans la station I, 59 degrés.

Ces faits peuvent se passer de tout commentaire.

§ VIII.

Manifestation de l'Ozone à la campagne.

Nous avons déjà fait connaître l'influence de la hauteur du sol sur la manifestation de l'Ozone (*voir la pag.* 93), et il a été bien démontré que c'est là où il révèle le plus librement sa présence.

Mais un fait des plus curieux et des plus importants est le développement considérable d'Ozone qui se produit à la surface de la terre couverte de végétaux ; en moins d'une heure la réaction est déjà très-sensible sur une bandelette de papier réactif suspendue à une cloche en verre recouvrant des végétaux

en pleine végétation. Ce fait considérable, pour la physiologie végétale, sera étudié plus loin avec tous les détails que comporte cette importante découverte.

Les fumiers et tous les engrais employés à la culture peuvent entraver et même détruire l'action de l'Ozone sur le papier réactif. Nous avons mis plusieurs fois des bandelettes de papier au-dessus du fumier et elles sont restées blanches; mais nous avons vu aussi le contraire se produire, notamment le 27 Avril 1856. La masse de fumier était considérable, les vapeurs ammoniacales abondantes, et cependant les bandelettes se colorèrent rapidement et très-fortement.

Le lendemain matin, les bandelettes restées en place étaient redevenues blanches. Ce fait curieux mérite une explication.

Lorsqu'à la suite des orages l'Ozone est très-abondant, qu'il est, en quelque sorte, précipité des hauteurs de l'atmosphère sur la terre, il lutte avec avantage contre l'action des miasmes et il colore le papier, quelles que soient les mauvaises conditions au milieu desquelles il est placé, c'est là un effet des courants : mais bientôt la quantité d'Ozone diminue, l'ammoniaque réagit à son tour sur l'iodure d'amidon et le décolore complètement. Nous reviendrons bientôt sur ces réactions chimiques (*voir le* § XII) qui peuvent être causes de grandes erreurs dans les appréciations faites par les observateurs.

§ IX.

Absence de l'Ozone dans les lieux habités.

Il ne suffisait pas de faire des observations à l'air libre, il était intéressant de constater si l'air des appartements contenait aussi de l'Ozone : dans ce but, nous avons fait placer des bandelettes de papier ozonoscopique dans chacune des salles de l'hôpital militaire de Metz; elles y sont restées 24, 48 heures et même plusieurs jours sans fournir jamais la plus légère trace d'Ozone, tandis que des bandelettes, faites du même papier, appendues à l'extérieur des fenêtres de l'établissement, donnaient 7, 8 et même 10 degrés à l'échelle ozonométrique.

Toutes les précautions avaient été prises pour donner aux expériences une exactitude complète : elles commencèrent le premier janvier 1856 et finirent le 31 du même mois. Dans la salle des blessés, située au rez-de-chaussée, exposée à l'est, cubant 800 mètres d'air, et dans laquelle il ne se trouvait que 18 ou 20 malades, les fenêtres ont été ouvertes, matin et soir, pendant une heure ; la température de la salle ne dépassait jamais 16° centigrades; il n'existait aucune apparence d'insalubrité ; en entrant l'odorat n'était frappé par aucune odeur désagréable, et cependant le

papier réactif n'a jamais décélé un atome d'ozone. Il en a été de même dans les salles des fiévreux et des vénériens, où existent les mêmes conditions hygiéniques et où l'on observe les mêmes soins de propreté.

Un fait non moins curieux a été constaté dans mes appartements et particulièrement dans ma chambre à coucher : cette pièce, parfaitement éclairée et aérée, est exposée au midi et à l'ouest; elle a quatre fenêtres et trois portes, elle cube 90 mètres d'air; malgré ces excellentes conditions hygiéniques, le papier ozonoscopique est toujours resté parfaitement blanc, tandis que les bandelettes exposées à l'air libre, en dehors de l'une des fenêtres, étaient toujours plus ou moins colorées. Des recherches semblables ont été faites à l'hôpital de Versailles par le docteur Bérigny : « Pendant dix jours, dit-il, à huit heures du matin et à huit heures du soir, j'ai cherché à m'assurer de l'état ozonométrique de cet établissement. Voici quels ont été les résultats de mes investigations :

» J'ai installé des papiers de M. Schœnbein dans les trois services : blessés, fiévreux et vénériens; les fenêtres étant restées ouvertes toute la journée, en même temps que je plaçais de ces mêmes papiers dans la cour de l'hôpital, et j'ai obtenu les effets suivants : les papiers exposés dans les salles sont restés douze, vingt-quatre, trente-six, quarante-huit heures et même quinze jours, sans décéler la moindre trace

d'Ozone, pendant que ceux qui étaient placés dans les angles de la cour fournissaient des nuances d'Ozone égales à celles que j'obtenais à l'observatoire météorologique, situé au nord de la ville. Enfin, j'ai mis un papier ozonométrique dans une très-vaste salle, très-éclairée, restée vide, sans malades depuis un mois, et qui, précédemment, avait reçu des scorbutiques que l'on y avait placés dans le but de les changer d'air, et là j'ai obtenu les mêmes nuances que celles que me donnaient les papiers exposés en dehors de la cour de l'hôpital et à l'observatoire météorologique (1). »

Ces faits conduisent à prévoir que les grands centres de population sont défavorables à la production de l'Ozone; une expérience directe l'a prouvé. M. Silbermann a fait à Paris, pendant tout le mois d'août 1855, au Conservatoire des Arts et Métiers, à six heures du matin et à six heures du soir, des expériences avec le papier ozonométrique sans pouvoir obtenir la moindre trace d'Ozone, tandis que M. Bérigny, à Versailles, dans le même laps de temps, recueillait toujours les nuances d'Ozone les plus foncées.

§ X.

L'Ozone se manifeste-t-il aux régions polaires et dans les lieux où il n'y a pas d'orage?

Ces questions peuvent être posées, mais l'état de

(1) Ouvrage cit. pag. 442.

la science ne permet pas de les résoudre. Il est cependant permis de supposer que, dans les sables arides du Saharah, où la végétation est rare, l'Ozone doit être peu abondant malgré l'état électrique de l'air atmosphérique : c'est qu'en effet, l'électricité, fournie par la terre seulement, ne suffit pas, ainsi que nous le démontrerons bientôt, pour la production de l'Ozone. Quant aux régions polaires, il est présumable qu'il en est tout autrement, car l'eau de mer donne abondamment de l'électricité positive.

§ XI.

Existe-t-il un Ozone positif et un Ozone négatif ?

L'existence incontestable de l'électricité positive et de l'électricité négative dans l'air atmosphérique, devait nécessairement provoquer cette question. Plusieurs observateurs l'ont faite et ne l'ont pas résolue.

Voici les raisons qui nous déterminent à penser que l'Ozone est constamment formé par l'oxygène électrisé positivement. Il est démontré, par toutes les expériences, que dans toute action chimique, notamment dans la décomposition de l'eau par la pile, l'oxygène se porte toujours au pôle positif ; nous savons que c'est l'un des procédés employés pour obtenir directement de l'Ozone ; ce fait, parfaitement acquis, ne peut être contesté.

Une autre observation non moins importante confirme cette opinion. La surface de l'eau, avons-nous vu, dégage une quantité considérable d'oxygène; en même temps il se produit de l'électricité positive par le fait de la vaporisation de l'eau, au moment où elle se sépare des sels qu'elle contient en dissolution. Ces conditions étant celles dans lesquelles l'Ozone se forme, on doit encore reconnaître que c'est à l'influence de l'électricité *positive* sur l'oxygène qu'il faut rapporter l'origine du phénomène.

Mais il existe encore une preuve plus décisive, c'est la formation prompte et facile de l'Ozone par les plantes au moment où la végétation est active.

On a avancé que les plantes exhalent de l'oxygène pendant le jour, et les expériences de M. Pouillet ont démontré qu'elles laissent également dégager de l'électricité positive. Or, les expériences que nous avons faites, et que nous rapportons plus loin, avec détails, constatent que le gaz exhalé par les végétaux, pendant le jour, est de l'oxygène électrisé.

Le doute ne nous semble plus possible, puisque toutes les expériences prouvent qu'il n'y a qu'un Ozone et qu'il est formé par la réaction de l'électricité *positive* sur l'oxygène.

§ XII.

De la formation et des sources de l'Ozone atmosphérique.

Les faits nombreux que nous avons rapportés resteraient sans lien et sans explication si nous ne parvenions à faire connaître la formation et les sources de l'Ozone atmosphérique.

Jusqu'ici, en effet, qu'avons-nous vu? Les chimistes, incertains sur la *nature* de l'Ozone, l'ont considéré successivement comme un corps simple, comme un composé d'oxygène et d'hydrogène, comme un acide nitreux, etc., et ce n'est qu'après les belles recherches de MM. Marignac et de la Rive, Fremy et Ed. Becquerel, qu'on a été fixé sur le véritable caractère de cet agent.

Les physiciens n'offrent pas moins de divergence sur l'origine de l'électricité atmosphérique, sur sa manifestation résineuse ou vitrée, sur la formation des orages, sur leur absence dans les mers polaires et sur une foule d'autres phénomènes électriques constatés mais inexpliqués.

Que dire de la météorologie? Les observations innombrables, recueillies en tous pays, sur les oscillations du baromètre, du thermomètre et de l'hygromètre ont-elles fait faire un pas sérieux pour arriver à la connaissance et à l'explication des faits?

La chimie elle-même, cette science si admirable par la rigoureuse exactitude de ses procédés, par ses merveilleuses découvertes, par les services rendus à presque toutes les branches des connaissances humaines, n'est-elle pas restée impuissante à démontrer la différence existant entre l'air pur et l'air vicié par les miasmes, à préciser les causes qui différencient l'oxygène libre de l'oxygène naissant, à expliquer la nitrification opérée spontanément à la surface de la terre, etc?

Que manquait-il pour résoudre presque toutes ces difficultés? Il fallait trouver le lien qui unit entr'eux les actes multiples, variés, du globe terrestre, soit qu'ils effraient par leur grandeur et leur puissance, soit qu'ils étonnent par leur petitesse atomique, invisible à nos yeux.

Ce lien est rendu évident par les découvertes que nous venons de faire, démontrant que l'Ozone est formé :

1° Par l'électrisation de l'oxygène qui s'échappe de l'eau ;

2° Par l'électrisation de l'oxygène sécrété par les plantes ;

3° Par l'électrisation de l'oxygène dégagé dans les actions chimiques.

4° Par des phénomènes électriques réagissant sur l'oxygène de l'air atmosphérique.

Voici la première série d'expériences servant à démontrer :

1° *L'Electrisation de l'oxygène qui s'échappe de l'eau.*

Première expérience. — Le 26 avril 1856 un seau d'eau de rivière fut versé dans une terrine vernissée, soulevée au-dessus du sol par trois bouteilles en verre formant trépied ; précaution prise afin d'éviter l'influence de l'électricité des corps environnants.

Une cloche en verre blanc, de la hauteur de 40 centimètres, de la capacité de six litres, fut placée sur cette eau. Cette cloche portait à l'intérieur et à son sommet une bandelette de papier ozonoscopique suspendue à un fil fixé lui-même par un petit morceau de cire.

La température était + 4° centigr., le soleil brillait, mais vers dix heures du matin, les nuages le cachèrent jusqu'à trois heures après-midi. L'expérience commença à huit heures du matin et fut continuée jusqu'au lendemain à la même heure. Le papier était fortement coloré et marquait le n° 7 à l'échelle ozonométrique.

Ce résultat remarquable excita vivement notre attention. L'expérience fut aussitôt renouvelée sur l'eau de source, l'eau de rivière et l'eau de pluie ; deux des terrines vernissées posaient directement sur la plateforme d'une maison élevée ; la troisième était soulevée sur des bouteilles en verre. Ces trois expériences, commencées à huit heures du matin, parcoururent les mêmes phases et donnèrent les mêmes résultats.

Il n'était plus possible de douter de la formation de l'Ozone dans les conditions indiquées, mais il restait plusieurs questions à résoudre.

Deuxième expérience. — A quelle heure se forme l'Ozone ? Une nouvelle série d'expériences, commencée à six heures du matin pour finir à six heures du soir, nous démontra que, sous une température qui n'a pas varié de 3 à 5 degrés centigr., il ne se manifeste aucun phénomène appréciable, mais de six heures à huit heures, et à mesure que la température s'élève, l'eau se vaporise, se condense en gouttelettes sur les parois intérieures du vase; le papier commence à se colorer vers neuf heures, il est jaune paille, puis couleur chamois; à onze heures, tous ces phénomènes prennent une intensité notable ; à midi, ils atteignent leur *maximum*, mais le papier continue à se colorer jusque vers trois heures : alors les vapeurs d'eau diminuent, plus tard on ne remarque plus que les gouttelettes qui tapissent l'intérieur du vase et glissent sur ses parois.

L'ordre de ces phénomènes est constant, mais ils se produisent avec plus ou moins de rapidité et d'intensité selon l'élévation de la température et la vivacité de la lumière solaire. Nous avons vu la vaporisation de l'eau, et, peu de temps après, la coloration du papier commencer vers dix heures du matin, et d'autres fois, vers sept heures.

Ainsi l'eau de source, l'eau de rivière ou de pluie, contenue dans des vases posés sur le sol ou soulevés sur des pieds en verre produisent constamment de l'Ozone.

Nous nous sommes demandé aussitôt si l'oxygène concourant à la formation de l'Ozone provenait de la décomposition d'une partie de l'eau qui se vaporise ou s'il était fourni par l'air contenu dans ce liquide. Pour répondre à cette question nous avons fait l'expérience suivante :

Troisième expérience. — Six litres d'eau distillée furent versés dans une terrine vernissée, et une cloche en verre, disposée comme précédemment, recouvrit le liquide. A la fin de l'opération le papier ozonoscopique présenta une légère coloration atteignant le n° 2 de l'échelle.

Nous ne tardâmes pas à nous adresser quelques objections contre l'exactitude de cette expérience. L'eau distillée, préparée depuis plusieurs jours, ne pouvait-elle pas avoir absorbé de l'air ? ou bien la portion d'eau qui n'était pas recouverte par la cloche, mais qui communiquait avec celle de l'intérieur, n'avait-elle pas fait pénétrer un peu d'air qu'elle aurait repris à l'atmosphère ? La question fut résolue par l'expérience suivante :

Quatrième expérience. — Six litres d'eau distillée furent mis en ébullition, pendant une heure, dans

un vase en terre vernissée, puis, tout l'air étant chassé, le liquide fut versé doucement dans la terrine; la cloche en verre fut posée et, afin d'éviter tout contact avec l'air extérieur, nous versâmes sur l'eau environnant la cloche une couche épaisse d'huile.

L'expérience commença à huit heures du matin et continua jusqu'au soir à la même heure; le soleil était brillant, la température à + 16° à midi. Le papier n'éprouva aucune altération; il resta parfaitement blanc. Ainsi se trouve démontré que ce n'est pas par la décomposition de l'eau que l'Ozone se forme, mais bien par le dégagement de l'oxygène dissous dans ce liquide, et que le gaz s'électrise par la réaction chimique opérée quand l'eau se vaporise et abandonne les sels qu'elle tient en dissolution. Si l'eau est pure elle ne fournit ni oxygène ni électricité libre.

Cette expérience démontre encore que les rayons solaires n'exaltent pas directement les propriétés oxydantes de l'oxygène, qu'il faut pour cela une réaction chimique concomitante, sans laquelle ils sont impuissants.

Il n'était pas sans intérêt de constater si l'eau ordinaire, de source ou de rivière, recouverte d'une épaisse couche d'huile, et par cela même à l'abri du contact de l'air, produirait de l'Ozone.

L'expérience fut faite le 28 avril : commencée à sept heures du matin elle fut prolongée jusqu'à sept heures du soir. Pendant deux heures il n'y eut aucun phéno-

mène apparent, mais vers dix heures, le papier se colora rapidement ; à midi on vit tout-à-coup des bulles d'air soulever le liquide huileux, puis crever en le projetant à une hauteur de deux et même de trois centimètres. Ceci se passait à l'extérieur de la cloche ; nous ne vîmes point le même phénomène apparaître à l'intérieur, ce que nous attribuâmes à la pression exercée par l'air dilaté par la chaleur.

Le papier ozonoscopique avait pris une teinte foncée, il marquait le n° 9 de l'échelle ; élévation de coloration que nous croyons devoir rapporter à une action chimique résultant d'une combustion lente opérée par l'oxygène électrisé passant à travers l'huile.

Sixième expérience. — L'eau salée fut aussi expérimentée, afin d'apprécier, à peu près, ce qui se passe sur la mer ; elle ne donna pas de réaction plus forte que l'eau de source, elle était même un peu plus faible que celle produite par l'eau de pluie qui, on le sait, renferme une plus forte proportion d'air atmosphérique que les eaux d'une autre origine.

Les résultats de ces expériences paraissaient indiquer trop directement l'influence de la lumière et de la chaleur sur la formation de l'Ozone pour ne pas s'en assurer par des recherches directes.

Septième expérience. — Plusieurs terrines vernissées, contenant de l'eau de source ou de rivière, furent recouvertes de cloches disposées comme nous l'avons

indiqué. L'expérience commença au moment où le soleil descendait sous l'horizon, elle fut continuée jusqu'au lendemain matin à sept heures. Le papier ozonoscopique fut trouvé parfaitement blanc. La même expérience répétée plusieurs fois dans des lieux divers, et à des hauteurs différentes, donna constamment les mêmes résultats.

La lumière et la chaleur étaient-elles les conditions indispensables au développement de l'électricité, ou bien les faits observés étaient-ils le résultat de la suspension ou du ralentissement des actions chimiques pendant la nuit? Cette question méritait d'être résolue par des expériences précises.

Huitième expérience. — De l'eau, récemment tirée de la rivière, fut mise dans une terrine et recouverte, comme chaque fois, d'une cloche en verre contenant du papier ozonoscopique. Sur cette cloche nous jetâmes une serviette épaisse, qui empêchait les rayons solaires d'agir directement. L'expérience commencée le matin fut continuée jusque fort avant dans la soirée; le papier resta parfaitement blanc. La même expérience, renouvelée plusieurs fois, donna toujours les mêmes résultats, ce qui démontre que la lumière joue un rôle actif dans la production de l'Ozone.

Il restait à constater si la chaleur seule peut suffire au développement de l'Ozone en favorisant la vaporisation de l'eau et les actions chimiques. La terrine, pré-

parée comme précédemment, fut placée sur un réchaud et la température de l'eau fut portée à un état voisin de l'ébullition.

Après plusieurs heures d'attente, le papier fut trouvé tout-à-fait blanc. Mais ici l'expérience est insuffisante, car la chimie nous apprend que la chaleur, élevée à 90 degrés [1], décolore l'iodure d'amidon et que la vapeur d'eau dissout l'iodure de potassium. En outre, les expériences de M. Peltier démontrent que la vapeur d'eau ne produit pas d'électricité libre à une température inférieure à 110 degrés.

Nous essayâmes encore si l'air sec, élevé à une haute température, donnerait de l'électricité appréciable par le papier réactif. Pour parvenir à ce résultat nous plaçâmes une feuille de tôle au-dessus d'une forte lampe à esprit de vin; sur cette tôle posait un bocal, à large ouverture, et malgré la durée de l'expérience le papier resta parfaitement blanc.

Les résultats donnés par ces diverses expériences, jettent un jour nouveau sur la production de l'électricité atmosphérique, sur les phénomènes qui l'accompagnent; ils nous révèlent des lois qui n'étaient pas même soupçonnées, ils nous font comprendre les faits obscurs constatés par l'observation, mais que la science ne pouvait expliquer.

(1) Lassaigne, *Journal de chimie médicale*, t. IX, p. 510.

2° *Electrisation de l'oxygène sécrété par les plantes.*

Les expériences de Priestley, d'Ingen-Housz, répétées par un grand nombre d'observateurs, avaient constaté que les végétaux exhalent, pendant le jour, un gaz qu'ils déclarèrent être de l'oxygène. Ce fait paraissait incontestable et la science l'avait admis définitivement.

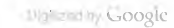
Voulant, à mon tour, vérifier le phénomène et préciser les conditions nécessaires à sa manifestation, je fis diverses expériences qui me conduisirent à soupçonner l'état électrique de l'oxygène sécrété par les plantes; je voulus m'en assurer.

Neuvième expérience. — Le 27 avril 1856 une cloche en verre blanc, portant à l'intérieur un papier ozonoscopique, fut placée sur une touffe de trèfle : il était huit heures du matin et déjà à dix heures le papier avait éprouvé un changement qui lui donnait la couleur jaune-chamois. A midi, la coloration était beaucoup plus prononcée; elle augmenta encore un peu et s'arrêta définitivement vers trois heures après midi.



Le papier retiré de la cloche fut trempé dans un peu d'eau et il donna le n° 6 de l'échelle ozonométrique.

Ce résultat me frappa vivement: ce n'était pas de l'oxygène pur que les plantes venaient de sécréter, comme on l'admettait, mais bien de l'Ozone. De nouvelles expé-



riences me parurent nécessaires afin de noter soigneusement tous les incidents qui se rattachent au phénomène; des cloches furent placées sur du trèfle, du blé semé en automne, du blé semé à la fin de février, sur l'herbe d'une prairie, sur une branche de lilas. Tous ces végétaux produisirent de l'Ozone : la quantité donnée par chacun d'eux varia légèrement; le trèfle en donna moins que le petit blé, et surtout que l'herbe de la prairie, ce qui semblerait indiquer que les plantes ont une activité vitale qui correspond à l'époque de leur accroissement, et qui, en favorisant les actions chimiques de la vie du végétal, contribue à la formation de l'Ozone.

Dans l'expérience que nous venons de rapporter l'ordre des phénomènes est constant : d'abord on voit apparaître, sous la cloche, une vapeur aqueuse qui ne tarde pas à se déposer en gouttelettes sur les parois de ce vase; puis le papier se colore légèrement; cette coloration augmente en raison de la décomposition de l'iodure de potassium; elle s'arrête vers trois ou quatre heures de l'après-midi; les vapeurs d'eau cessent à leur tour et les gouttelettes qui descendent rendent au verre sa transparence.

Ces expériences, répétées un très-grand nombre de fois, donnèrent des résultats constants, et il fut bien démontré que, sous l'influence de la lumière et de la chaleur solaires, les plantes produisent abondamment de l'Ozone.

Quelque satisfaisantes que fussent ces recherches, elles pouvaient encore faire naître des objections. La formation de l'Ozone, bien qu'incontestable, était-elle réellement due à l'action des végétaux? ne provenait-elle pas de la terre qui fournit aussi de l'électricité?

On pouvait répondre que l'électricité du sol est négative et que, par cela même, elle ne devait pas produire d'Ozone; mais c'eût été une assertion et non une preuve; il fallait une expérience directe, la voici:

Dixième expérience. — Une branche de lilas, chargée de feuilles, fut introduite dans un ballon à deux tubulures: l'ouverture supérieure était fermée par un bouchon percé d'un trou, pour laisser passer l'extrémité de la branche; le ballon, attaché à une corde en soie, fut suspendu à une poutre et élevé de trois mètres au-dessus du sol; toutes les précautions avaient été prises pour éviter l'action de l'électricité terrestre sur l'appareil.

L'expérience commencée à dix heures du matin, était déjà en activité à onze heures; le papier se colora, mais lentement, et à six heures du soir, la réaction étant terminée, nous constatâmes que le papier ne marquait que le numéro 3 de l'échelle ozonométrique, tandis que la même expérience, répétée dans le même temps, sur des plantes attachées au sol, donna des papiers colorés aux numéros 5 et même 6 de l'échelle.

Il nous semble démontré par cette expérience que

l'électricité produite est bien le résultat des actions chimiques et vitales opérées dans la plante, puisqu'on ne peut l'attribuer à l'influence de l'électricité terrestre conduite par la tige du végétal dans l'intérieur du ballon : mais on doit reconnaître que l'état de souffrance de la plante a affaibli les effets produits dans l'état normal.

La formation de l'Ozone par les plantes, pendant le jour, étant un fait acquis et tout-à-fait incontestable, il restait à démontrer si le même phénomène se manifesterait également la nuit.

Onzième expérience. — Des recherches furent recommencées sur tous les points d'expérimentation pendant plusieurs nuits de suite. Les cloches, replacées sur les plantes qui avaient fourni de l'Ozone pendant le jour, sur d'autres restées constamment à l'air libre, demeurèrent depuis huit heures du soir jusqu'à six heures du matin; les papiers furent constamment retrouvés blancs, n'ayant éprouvé aucune altération. Pour constater ensuite que les papiers n'avaient pas perdu leur propriété colorante, ils furent employés pendant le jour et donnèrent les réactions habituelles.

Ces observations nous amenèrent naturellement à nous assurer des effets produits sur les plantes en les soustrayant à la lumière du jour.

Douzième expérience. — Des plantes très-vivaces, fournissant activement de l'Ozone, furent recouvertes de

nouvelles cloches munies de bandelettes de papier, et soustraites à la lumière par un morceau de toile, et d'autres par une feuille de papier : la formation de l'Ozone fut à l'instant arrêtée; les papiers restèrent blancs.

Treizième expérience. — Nous fîmes plus encore; des plantes d'espèces différentes furent mises sous une cloche et placées dans une chambre parfaitement aérée et éclairée, mais soustraites à l'action directe des rayons solaires. L'expérience dura deux jours et demi, et le papier n'éprouva aucun changement.

Il n'était pas sans importance de rechercher ce qui appartient à l'acte vital de la plante, dans la formation de l'Ozone, afin de le séparer de la part qui revient à la vaporisation de l'eau qui s'échappe abondamment des feuilles des végétaux. Cette quantité est si considérable qu'elle serait presque incroyable si des expériences précises, faites par des hommes du premier mérite, ne le démontraient complètement. Hales a prouvé qu'un chou transpirait, en douze heures de jour, cinq cent quatre-vingts grammes d'eau, et M. Boussingault a calculé qu'un champ de choux d'un hectare, dont les plants seraient espacés à 50 centimètres, peut, en douze heures, émettre 20 000 kilogrammes de vapeurs répondant à 20 mètres cubes d'eau (1.) Ajoutons encore que les feuilles,

(1) Boussingault. *Economie rurale*, etc., tom. 1. pag. 29.

multipliant les surfaces, augmentent dans des proportions considérables la production de l'Ozone.

M. Boussingault a mesuré avec soin la surface des feuilles et des tiges du topinambour, du froment, de la pomme de terre et des betteraves, et, en rapportant ses calculs à un hectare de terre, il est arrivé aux résultats suivants (*Ouvrage cité*, pag. 63) :

		Mètres carrés.
Topinambour : surface des feuilles en septembre	136 000	142 410
Surface des tiges (hauteur 2 à 3 mètr.)	6 410	
Froment en fleur, 195 plants, par mètre carré, les parties d'un plant, tige et feuilles 1 m. 82 décim. carrés		35 400
Pomme de terre, en fleurs, les plants espacés à 6 décimètres.		
Surfacè des feuilles	36610	39 641
— des tiges vertes	3031	
Betterave champêtre dans un terrain très-riche, premier jour d'octobre ; plants espacés à 6 décimètres		49 921

Cette vaporisation énorme est une source abondante d'Ozone, elle étonne l'imagination; mais comment assigner la part qui revient à l'action vitale de la plante ? Voici l'expérience qui répond à cette question.

Quatorzième expérience. — Deux verres, de même forme, contenant un demi-litre chacun, furent remplis

d'eau de rivière, tenus renversés sur un grand plat en porcelaine et placés l'un à côté de l'autre. Dans l'un de ces verres nous avions mis huit feuilles d'arbres, lilas et peuplier; dans l'autre, il n'y avait que de l'eau. L'expérience commença à huit heures du matin; le soleil brillait, la température était à 10 degrés centigrades.

A dix heures du matin, les feuilles, surtout celles de peuplier, étaient couvertes, principalement à leur face inférieure, d'une foule de petites bulles perlées qui, se détachant peu à peu, gagnèrent le sommet du vase: à midi, une grosse bulle existait; à six heures du soir, elle isolait complètement l'eau du fond du verre.

Le second vase, qui ne contenait que de l'eau, ne donna que de petites bulles très-fines, adhérant aux parois du verre et qui, à la fin du jour, formèrent à peine deux bulles de la largeur d'une lentille de médiocre grosseur.

Cette expérience démontre que l'action vitale des plantes joue un rôle très-actif dans la vaporisation de l'eau et la formation de l'Ozone, et que, dans ce dernier acte, il faut attribuer aux végétaux la part la plus large.

Il est donc parfaitement constaté et définitivement acquis à la science que les plantes ne fournissent pas à l'atmosphère de *l'oxygène pur* comme on le supposait, mais bien qu'elles produisent de *l'Ozone* sous l'influence de la lumière directe du soleil; qu'elles cessent d'en exhaler pendant la nuit, dans l'obscurité artificielle et

même lorsqu'elles sont dans la lumière diffuse d'un appartement.

La formation de l'Ozone par l'eau et par les plantes, pendant le jour, est un grand acte de la nature dont l'existence n'était pas soupçonnée, et qui, nous le verrons bientôt, exerce une action de premier ordre sur les animaux, les végétaux et la production des phénomènes électriques de l'atmosphère du globe terrestre.

Il nous reste encore à constater quels sont les effets de la terre complètement dépouillée de végétaux. Ces effets sont divers, selon les précautions prises. Si on se borne à mettre sur le sol nu un globe muni de papier ozonoscopique, on ne tarde pas à voir, sous l'influence des rayons solaires, quel que soit l'état de sécheresse apparente de la terre, des vapeurs d'eau s'élever et se condenser en gouttelettes contre les parois du vase: dans ce cas le papier éprouve rapidement une réaction, évidemment due à la vaporisation de l'eau.

Si, au contraire, on fait sécher la terre lentement, qu'on la prive totalement d'eau, il ne se produit plus de réaction, le papier reste blanc.

Cette expérience nous démontre plusieurs faits importants servant à expliquer l'introduction des gaz dans la terre. En effet, l'eau échauffée fait le vide en se vaporisant; les gaz en contact avec la surface du sol, pénètrent dans les molécules de la terre et s'y enfoncent

avec une activité qui est proportionnelle à l'intensité de la chaleur et de la lumière solaires. Ces gaz, surtout l'acide carbonique, se dissolvent dans l'eau qu'ils rencontrent et qui elle-même est absorbée par les radicelles des végétaux avec une puissance qui est égale à la vaporisation opérée par les feuilles. C'est ainsi que ce mouvement de rotation sert à l'accomplissement des fonctions nutritives, calorifiques et sécrétoires des végétaux ; ordre de faits admirable, qui rappellera plus tard notre attention lorsque nous nous occuperons de l'Ozone dans ses rapports avec la physiologie végétale.

3° *Electrisation de l'oxygène dégagé dans les actions chimiques.*

Nous avons déjà dit (*pag.* 33) que partout où se forment des combinaisons chimiques avec dégagement d'oxygène, il y a formation d'Ozone. En effet, dans toute action chimique, l'électricité joue un rôle important, c'est elle qui paraît constituer la loi des affinités ; on conçoit donc que, dans ces conditions, l'oxygène qui se porte toujours au pôle positif, subissant l'influence de l'électricité, prenne à l'instant les propriétés appartenant à l'Ozone.

Les caractères de l'oxygène, à l'état libre, ont été donnés par tous les auteurs ; il est, disent-ils, incolore, invisible, sans odeur, gazéiforme sous toutes les pressions à la température ordinaire, et à l'état

sec, il n'agit pas sur les métaux, notamment sur le potassium, même lorsqu'il est humide.

L'Ozone, au contraire, a une odeur très-prononcée, il réagit sur les métaux à la température ordinaire et les oxyde immédiatement.

Les chimistes, ne pouvant trouver l'explication des phénomènes produits par l'oxygène dans les réactions chimiques, ont admis que *l'oxygène naissant* possède des propriétés que n'a pas *l'oxygène libre;* ils n'ont pas été au-delà, ils se sont contentés de cette supposition. M. Houzeau a voulu aller plus loin et il a cherché à obtenir de l'oxygène naissant, afin d'en bien préciser les caractères, en faisant réagir, à une basse température, de l'acide sulfurique monohydraté sur du bioxyde de barium (*voir pag.* 54); il a réussi dans sa tentative; mais qu'a-t-il obtenu? un gaz dont tous les caractères sont identiquement ceux de l'Ozone.

L'expérience suivante démontre encore la formation de l'Ozone dans les actions chimiques.

Lorsqu'on verse, dans une éprouvette, une solution d'iodure de potassium dans l'eau distillée, en y ajoutant une petite quantité d'amidon et d'acide acétique, le mélange reste incolore; mais à peine y a-t-on fait tomber quelques parcelles de peroxyde de manganèse, que le liquide se colore en bleu et révèle la formation d'iodure d'amidon. Que se passe-t-il dans cette réaction chimique? L'iodure de potassium, l'amidon et l'acide

acétique sont restés en présence sans amener aucune combinaison, mais à peine le peroxyde de manganèse a-t-il été introduit que l'acide acétique, réagissant sur lui, le fait passer à l'état d'acétate, chasse un atome d'oxygène qui s'électrise, s'empare de l'iodure de potassium hydraté, met l'iode en liberté, et ce corps, se combinant avec l'amidon, forme un iodure qui révèle sa présence en colorant le liquide en bleu; série de phénomènes qui n'auraient pas lieu si l'oxygène ne passait à l'état d'Ozone. Pour s'en assurer il faut obtenir de l'oxygène par l'un des procédés connus; le faire passer par un tube de porcelaine chauffé à 200 degrés environ, afin de détruire les éléments étrangers auxquels il pourrait être uni; puis faire passer ce gaz à travers le mélange indiqué plus haut; on constatera alors que cet oxygène n'aura pas d'action sur l'iodure de potassium et, par conséquent, qu'il ne favorise pas la formation de l'iodure d'amidon.

Tous les acides, excepté l'acide sulfurique, peuvent être employés pour répéter cette expérience; ce dernier possède en effet une puissance suffisante pour décomposer l'iodure de potassium hydraté et mettre l'iode en liberté.

Les propriétés de l'ozone expliquent une foule de combustions lentes qui se produisent à l'air libre; elles rendent raison du passage spontané de plusieurs sulfures à l'état de sulfates, de la formation de l'acide azotique

dans l'air atmosphérique, de la nitrification opérée à la surface de la terre, phénomènes qui, aux yeux des hommes les plus habiles, étaient enveloppés *d'une obscurité profonde* (1); enfin elles font comprendre le fait suivant si remarquable par sa singularité apparente. Lorsqu'on plonge une lame d'or ou de cuivre dans de l'acide azotique ordinaire, ces métaux sont attaqués aussitôt et détruits rapidement, mais si l'acide est concentré, s'il est anhydre, il perd sa puissance et reste sans action. N'est-il pas évident que, dans ce dernier cas, il manque l'oxygène qui doit s'électriser, oxyder le métal à froid et en permettre la dissolution.

Si nous reportons maintenant cette explication sur une foule de phénomènes chimiques restés obscurs, nous trouverons qu'ils s'éclairent d'une lumière inattendue et que la théorie électro-chimique reçoit une confirmation qui en manifeste l'exactitude et la valeur.

4° *Electricité réagissant sur l'oxygène de l'air atmosphérique.*

Nous avons déjà constaté que *l'air atmosphérique soumis à un courant électrique continu et invisible, ou à une succession d'étincelles, donne de l'Ozone.* Mais dans quelle région de l'atmosphère ce phénomène se produit-il? Tout tend à faire croire que c'est dans

(1) Boussingault, *Economie rurale, etc.*, t. 1, pag. 675.

les régions élevées : là, les nuages, chargés d'électricité contraire, établissent entr'eux des courants perpétuels qui agissent sur l'oxygène et lui donnent les propriétés de l'Ozone. Cet effet est mis hors de doute pendant les orages, sous l'influence des éclairs, et surtout lorsque la foudre éclate. L'air est alors imprégné de l'odeur caractéristique de l'Ozone, si souvent constatée par les observateurs dans les endroits foudroyés ; alors aussi le papier ozonoscopique fournit des indications positives, il bleuit fortement et donne des réactions qui atteignent fréquemment le *maximum* de l'échelle ozonométrique.

L'Ozone ainsi produit ne se manifeste pas immédiatement à la surface du sol ; il faut que les couches supérieures de l'atmosphère, refroidies par les vents et la pluie, aient eu le temps de descendre vers la terre et d'y amener l'oxygène électrisé dans les hautes régions ; aussi n'est-ce, le plus souvent, qu'un jour ou deux après les orages que les réactions ozoniques sont les plus prononcées.

De cet ensemble de faits ressort la preuve que la nature possède des sources abondantes d'Ozone, qu'elles existent à la surface du globe et dans les régions élevées de l'atmosphère, qu'il s'établit perpétuellement des courants ascendants et descendants exerçant une influence puissante sur la production des grands phénomènes électriques, et sur les actes de la vie végétale et animale.

La découverte des sources de l'Ozone est donc un événement qui doit jeter un jour nouveau sur la physiologie des animaux et des végétaux, sur les combinaisons atomiques des corps, et démontrer qu'un lien, jusqu'ici inaperçu, unit entr'eux, par des rapports étroits, tous les corps de notre globe.

§ XIII.

Des causes d'erreurs dans les observations ozonométriques.

Ces causes sont nombreuses, elles peuvent tenir : 1° *à la mauvaise préparation du papier amidonné et ioduré.* Nous avons déjà dit (*page* 41) l'importance qu'il faut attacher à la fabrication du papier : plus il sera d'une pâte fine, mieux il vaudra ; papier collé et glacé est préférable à tout autre. Les papiers grossiers, granuleux, non collés, sont presque tous fabriqués avec des chiffons blanchis au chlore ; ils se recouvrent mal de la colle d'amidon, ils donnent des réactions irrégulières, veinées ou marbrées ; ces papiers, qui sont très hygrométriques, favorisent la vaporisation de l'iode, et quelquefois produisent des réactions sur l'iodure de potassium par le chlore qu'ils ont retenu au moment de leur fabrication.

Une grande difficulté dans la préparation du papier

est l'application régulière et suffisante de la colle d'amidon : si l'on en met trop peu, la coloration ne répond pas au degré d'Ozone contenu dans l'air ; si l'on en met trop, le papier devient raide et s'écaille promptement. Il serait facile, dans une fabrication en grand, d'obtenir des couches uniformes en se servant de deux rouleaux de gélatine, semblables à ceux des imprimeurs et sur lesquels on verserait la colle qui doit recouvrir le papier.

2° *L'humidité excessive de l'air* est une grande cause d'erreur : l'iodure d'amidon, étant soluble dans l'eau froide, disparaît en se vaporisant avec le liquide ; il est facile de constater ce fait lorsque la pluie mouille le papier, ou lorsqu'il se forme un épais brouillard. Dans ces conditions, si l'Ozone existe dans l'air, on voit le papier se colorer légèrement, mais, à mesure que l'expérience se prolonge, l'iodure d'amidon s'évapore et le papier redevient tout-à-fait blanc.

Cette cause d'erreur apparaît dans toute son évidence lorsqu'on place du papier ozonoscopique au-dessus et très-près d'un cours d'eau rapide, telle qu'une chute d'eau naturelle ou le déversoir d'un moulin : le papier se colore bientôt légèrement, mais, à mesure que l'iodure d'amidon se forme, il disparaît. Lorsqu'on retire la bandelette de papier on la trouve plus blanche qu'au début de l'expérience ; ce qui tient à ce que le papier, mouillé par les vapeurs d'eau et léché cons-

tamment par le courant d'air, perd complètement la couche d'amidon qui le recouvrait.

3° *Les vapeurs ammoniacales*, répandues dans l'atmosphère, peuvent exercer une influence très-marquée sur le papier ozonométrique, et en détruire la coloration : on sait, en effet, que les alcalis, particulièrement l'ammoniaque, font disparaître la couleur bleue de l'iodure d'amidon, et que les acides la régénèrent. On peut utiliser avantageusement cette propriété en se servant d'eau acidulée pour tremper les papiers qui ont servi aux expériences. Cette précaution est même bonne en tout temps, car on ne peut jamais affirmer qu'il ne s'est pas produit d'ammoniaque dans le voisinage des lieux d'observation.

4° Un phénomène contraire peut survenir à la suite des orages. On sait, en effet, que les pluies contiennent alors une quantité plus ou moins grande *d'acide azotique;* cet acide agit sur les papiers et leur donne un aspect rougeâtre ou violet. Si cette cause est soupçonnée, on fera parfaitement bien de tremper la bandelette de papier dans un peu d'eau ammoniacale.

5° *La durée des observations* influe considérablement sur l'aspect du papier. Si l'air est sec et l'Ozone abondant, le papier prend, à la fin de la première heure d'observation, une teinte jaunâtre, couleur chamois. Cette coloration se prononce de plus en plus, et arrive à la couleur feuille morte foncée.

Si l'air est humide, ou que les papiers aient été exposés à la pluie, l'iodure de potassium se forme immédiatement, et les papiers deviennent bleus.

Douze heures d'exposition à l'air libre suffisent généralement pour atteindre le maximum d'intensité que peut donner l'air atmosphérique ; cependant lorsque les papiers sont fortement chargés de colle, l'intensité de la coloration augmente pendant vingt-quatre heures. On passe ainsi par toutes les nuances, car Berzélius nous apprend (Berzélius, *tom.* 5, *pag.* 198) que la combinaison, suivant la quantité d'amidon, devient *rougeâtre*, *violette*, *bleue* ou *noire*.

Au-delà de vingt-quatre heures, il se vaporise plus d'iodure d'amidon qu'il ne s'en forme, le papier resté à l'air libre se décolore progressivement, et finit par reprendre sa teinte blanche primitive.

6° La principale cause d'erreur tient évidemment à l'imperfection de l'instrument ; il nous permet bien de constater, il est vrai, dans un grand nombre de circonstances, la présence de l'Ozone dans l'atmosphère, mais il ne nous permet pas d'en doser la quantité. Supposons, en effet, qu'une bandelette de papier ozonoscopique soit exposée à un courant d'air ozoné d'une vitesse de cent mètres par minute, et qu'une seconde bandelette soit exposée à un courant de deux cents mètres dans le même temps, il arrive très-souvent que la bandelette touchée par la plus grande quantité

d'Ozone sera celle qui en révèlera le moins, parce que dans cette circonstance la rapidité du courant aura favorisé la vaporisation de l'iodure d'amidon.

Déjà nous avons fait plusieurs tentatives pour obtenir des résultats plus exacts et plus rigoureux que ceux fournis par le papier. Elles n'ont point encore atteint le but que nous indiquons, mais déjà il est possible de prévoir qu'on y parviendra.

Nous savons que l'Ozone mis en contact avec une lame d'argent ou de cuivre, l'oxyde rapidement. Profitant de cette propriété, M. Bouchotte fils, ancien élève de l'école centrale des arts et manufactures, a pris une lame de cuivre très-mince, comme les doreurs en emploient, il l'a mise sur un peu d'eau acidulée avec de l'acide acétique bien pur, contenu dans une assiette; le tout fut exposé à l'air libre, et en très-peu de temps, c'est-à-dire en moins de trois heures, par une journée orageuse, la lame de métal fut complètement transformée en acétate de cuivre; il suffit alors de vaporiser le liquide et de peser le sel pour connaître la quantité d'oxygène électrisé qui s'est fixé. Cet essai est une application heureuse de la belle expérience de MM. Frémy et Becquerel, rapportée plus haut (*page* 26), démontrant que l'oxygène électrisé, mis en contact avec une lame d'argent humide, l'oxyde immédiatement et à froid. Perfectionnons ce procédé et nous trouverons le moyen de résoudre la difficulté signalée.

Peut-être trouvera-t-on encore dans la teinture de Gayac, qui est le réactif le plus sensible que l'on connaisse, et qui devient bleue au contact de l'Ozone, un agent précieux pour constater la présence de ce dernier corps (1).

(1) VIERORDT'S. *Archiv. für physiolog. Heilkunde.* 1er cah. 15 Févr. 1856 — et *Gaz. hebdomadaire de Paris*, 16 Mai 1856.

RECHERCHES PHYSIOLOGIQUES.

La découverte des sources de l'Ozone ouvre des horizons nouveaux d'une immense étendue; elle est appelée à faire naître des recherches spéciales et des travaux importants que nous ne pouvons qu'indiquer; c'est au temps et à l'activité de l'esprit humain qu'il faut laisser le soin de fournir la preuve de tous les faits que la théorie signale et que l'intuition prévoit. La nature de notre ouvrage nous impose des limites et le champ que nous parcourons est trop vaste pour nous permettre de pénétrer dans les détails et d'aborder toutes les difficultés.

Nos recherches physiologiques comprendront :

1° La physiologie des végétaux;

2° La physiologie des animaux;

3° La physiologie du globe terrestre.

§ I.

Physiologie des végétaux.

Les théories adoptées en physiologie végétale, s'appuient sur l'autorité d'hommes si considérables dans les sciences qu'il y a presque témérité à venir émettre un doute sur leurs assertions. Il faut donc qu'on soit bien convaincu de l'exactitude des faits observés et des con-

séquences qui en découlent pour les opposer aux opinions admises. Cependant une réserve trop absolue étant contraire aux véritables intérêts scientifiques, nous ne pouvons nous dispenser de présenter les résultats de nos recherches.

Tous les auteurs s'accordent sur ces trois points, savoir :

Que les plantes sécrètent de l'oxygène pendant le jour et de l'acide carbonique pendant la nuit;

Que l'acide carbonique, absorbé par les feuilles des plantes ou par leurs racines, est décomposé sous l'influence d'un acte vital; que l'oxygène de l'acide est exhalé et que le carbone se fixe pour former le corps du végétal;

Que les matières azotées forment la partie active des engrais, celle qui est vraiment utile à la plante.

Voici d'abord comment s'explique M. Boussingault :

« En 1774, Priestley reconnut que les plantes, en émettant de l'oxygène, possèdent la propriété d'améliorer l'air atmosphérique vicié par la respiration des animaux ou par la combustion. Cette découverte inattendue fixa au plus haut degré l'attention des physiologistes. »

« Cependant, Priestley n'était pas maître de l'expérience capitale qu'il avait signalée au monde savant. Il n'avait pas saisi toutes les circonstances qui en assurent le succès. Quelquefois les feuilles sur lesquelles on expérimentait, ne laissaient dégager aucun gaz; quelque-

fois aussi, le gaz dégagé, loin d'être de l'oxygène, était du gaz acide carbonique. Ce fut Jngen-Housz qui constata l'influence de la lumière solaire sur la production de ces phénomènes. Il prouva, par une multitude d'observations, que les feuilles exhalent de l'oxygène, lorsqu'elles sont exposées au soleil. Il reconnut en outre que dans l'obscurité, elles vicient l'air et le rendent impropre à la respiration et à la combustion. »

« Restait encore à expliquer l'origine de l'oxygène dégagé de l'eau par les feuilles éclairées par la lumière du soleil. C'est ce que fit Sennebier en prouvant que c'est à l'acide carbonique contenu ordinairement dans l'eau, que les feuilles doivent de produire du gaz oxygène. On rendait ainsi raison des anomalies qui avaient été successivement signalées. L'eau bouillie, comme Bonnet l'avait observé le premier, ne pouvait donner de l'oxygène; et les eaux de source, comme l'avait reconnu effectivement Jngen-Housz, devaient en produire plus que l'eau de rivière, par la raison que les eaux souterraines renferment toujours plus d'acide carbonique que celles qui coulent à la surface du sol. »

« Ainsi, en résumant l'histoire de cette brillante découverte du XVIIIe siècle, on peut dire que Bonnet a le premier aperçu le phénomène du dégagement gazeux opéré par les feuilles; que Priestley s'est aperçu que le gaz dégagé est de l'oxygène; que Jngen-Housz a démontré la nécessité de la lumière solaire pour la réali-

sation du phénomène; et qu'enfin c'est à Sennebier qu'il était réservé de montrer que le gaz oxygène obtenu dans ces circonstances est le résultat, le produit de la décomposition de l'acide carbonique [1]. »

A l'appui de ces explications, venait une expérience très-nettement décrite par M. du Breuil [2], et qui semble si précise que le doute ne pourrait venir à la pensée. Voici ce que dit cet auteur : « L'expérience suivante vient, du reste, prouver d'une manière bien évidente cette absorption de l'acide carbonique par les feuilles, sa décomposition sous l'influence de la lumière et la fixation du carbone dans la plante. Si l'on place sur une même cuvette (*a* fig. 30) deux bocaux renversés, l'un *b*, ainsi que la cuvette, pleins d'eau distillée dans laquelle nage une plante de menthe aquatique, l'autre *c*, rempli d'acide carbonique ; qu'on surmonte l'eau de la cuvette d'une épaisse couche d'huile pour éviter le contact de l'air atmosphérique, et qu'on expose l'appareil au soleil, voici ce qui a lieu. L'acide carbonique est progresssivement absorbé par l'eau qui le cède à mesure à la plante de menthe, celle-ci le décompose et rejette l'oxygène, lequel s'accumule successivement au sommet du bocal *b*, tandis que l'on voit l'eau s'élever dans le bocal *c* et

(1) Boussingault, *Economie rurale, etc.* Paris 1851, pag 50-51.

(2) Du Breuil, *Cours élémentaire d'arboriculture.* Paris 1851, pag. 28-29.

y occuper un espace à peu près égal à celui de l'oxygène qui s'accumule au-dessus de la plante de menthe. »

Le professeur Liebig vient à son tour confirmer ces assertions dans son article intitulé : *Décomposition de l'acide carbonique et émission de l'oxygène par les plantes.* « Cette propriété remarquable des plantes, dit-il, se trouve démontrée par de nombreuses observations qui écartent toute espèce de doute à ce sujet. Tout le monde peut, par les moyens les plus simples, se convaincre que *les feuilles et les parties vertes de toutes les plantes absorbent de l'acide carbonique et exhalent un volume égal d'oxygène.* Elles possèdent encore cette faculté lors même qu'elles sont séparées de la plante ; en effet, si dans cet état on les met dans une eau contenant de l'acide carbonique, et qu'on les expose aux rayons solaires, l'acide carbonique disparaît entièrement au bout de quelque temps. Lorsqu'on fait cette expérience sous une cloche remplie d'eau, il est aisé de recueillir et d'examiner le gaz oxygène qui a été mis en liberté. Dès que le dégagement d'oxygène a cessé, on ne trouve plus d'acide carbonique dans la dissolution ; si on y ajoute alors une nouvelle quantité d'acide carbonique, le dégagement d'oxygène recommence (1). »

Cet auteur ajoute : « C'est dans un but aussi sublime

(1) LIEBIG. *Traité de Chimie organique*, tome 1er. Introduction pag. LXXIV. Paris 1840.

que sage que la vie des plantes et celle des animaux se trouvent intimement liées l'une à l'autre par des moyens d'une simplicité admirable. On peut se figurer une végétation riche et abondante, se développant sans le concours de la vie animale; mais l'existence des animaux n'est pas aussi indépendante, elle tient au contraire essentiellement à la présence et à l'accroissement des plantes. » Un peu plus loin l'auteur conclut en ces termes : Le résumé de ces faits est que les animaux expirent du carbone et que les végétaux l'aspirent; ainsi le milieu dans lequel le phénomène s'accomplit, savoir, l'air, ne peut changer de composition. »

Voilà les faits parfaitement établis, adoptés, la physiologie végétale régularisée, et la chimie organique formulée.

Cependant quelques doutes commençaient à naître dans notre esprit sous l'influence de la découverte des sources de l'Ozone atmosphérique. Les expérimentateurs avaient-ils bien observé? s'étaient-ils placés dans toutes les conditions voulues pour éviter les causes d'erreur? avaient-ils compris la nécessité de priver l'eau d'oxygène, afin de prouver que ce n'est pas au liquide, mais bien à la décomposition de l'acide carbonique qu'il faut rapporter la présence de ce premier gaz? Des expériences pouvaient seules répondre à ces questions.

Première expérience. — Nous suivîmes exactement les indications données par M. du Breuil. Deux bocaux,

de la capacité de deux litres et demi chacun, furent mis sur un plateau profond contenant de l'eau distillée bouillie; l'un de ces bocaux renfermait du gaz acide carbonique, l'autre des feuilles de lilas et de l'eau bouillie et privée d'air. L'expérience commença à huit heures du matin et dura jusqu'au lendemain à la même heure. Le bocal contenant de l'acide carbonique avait perdu un tiers de son gaz; l'eau s'était élevée proportionnellement dans le vase; le bocal renfermant les feuilles ne contenait pas une bulle d'air.

Cette expérience capitale infirmait trop positivement les assertions des auteurs pour ne pas faire naître quelque doute sur notre propre exactitude; n'avions-nous pas commis une erreur ou fait une omission ?

Deuxième expérience. — Nous procédâmes à une nouvelle expérience; elle commença le 8 mai 1856, à sept heures et demie du matin, et, voulant être à l'abri de toute objection et de toute cause d'erreur, nous prîmes les dispositions suivantes :

Un grand baquet en bois fut placé dans une vaste cour d'une maison à la campagne; de l'eau de pluie, recueillie la veille, fut bouillie pendant une demi-heure dans un chaudron en cuivre étamé; cette eau de pluie fut préférée à l'eau distillée pour qu'on ne pût pas objecter que le liquide, se trouvant privé de tous ses sels, ne fournissait plus aux plantes les agents de stimulation nécessaires à l'accomplissement de leurs fonc-

tions; l'acide carbonique fut recueilli dans une cloche en verre de la capacité de douze litres ; le bocal destiné à recevoir les plantes avait une capacité de deux litres et une ouverture large, égale au diamètre transversal.

L'eau qui venait de bouillir fut refroidie promptement par l'immersion du chaudron dans un courant d'eau froide, précaution prise afin que les lenteurs ne permissent pas la réabsorption de l'air; tout étant préparé, l'expérience commença.

Des feuilles de lilas, tenant encore à leurs branches, furent introduites dans le bocal rempli d'eau bouillie; nous les avions préalablement trempées dans l'eau et lavées avec soin pour dégager l'air ; le bocal, tenu renversé, fut mis en place : à son côté se trouvait la cloche en verre contenant l'acide carbonique, et afin de faciliter les communications d'un vase à l'autre, nous plaçâmes trois petites cales sous le bord de chacun d'eux pour que le verre ne posât pas directement sur le bois du baquet. Cela fait, nous versâmes lentement et avec précaution une couche épaisse d'huile sur l'eau bouillie.

A côté du bocal rempli d'eau bouillie, nous en plaçâmes un autre ne renfermant que de l'air et des feuilles de lilas, il portait au sommet deux bandelettes de papier ozonoscopique.

Afin d'établir des termes de comparaison, deux autres opérations marchaient parallèlement. L'une, la plus

simple, n'offrait que des feuilles de lilas mises sous un bocal, portant à l'intérieur une bandelette de papier réactif; l'autre présentait un bocal contenant des feuilles et de l'eau de pluie non bouillie, bocal renversé sur un plateau contenant de l'eau.

Toutes ces expériences furent suivies avec un soin sévère; voici les observations consignées selon l'ordre d'apparition des phénomènes :

1° Le bocal rempli d'air, portant une bandelette de papier réactif et couvrant des feuilles de lilas, marcha le premier : à neuf heures du matin, le papier avait pris la couleur chamois, à midi, la couleur feuille morte, à sept heures du soir, étant trempé dans l'eau, il donna le n° 6 de l'échelle ozonométrique.

2° Le second vase, contenant de l'eau de pluie et des feuilles qui y plongeaient, commença à marcher vers dix heures du matin, les feuilles, surtout leur partie inférieure, se couvrirent de bulles qui se détachèrent peu à peu pour gagner le sommet du bocal; à sept heures du soir, la quantité de gaz réuni formait une grosse bulle équivalant à trois centilitres cubes en volume.

3° Le troisième bocal, mis sur l'eau bouillie, contenant des feuilles, de l'air atmosphérique et deux bandelettes de papier ozonoscopique, ne donna rien jusqu'à midi ; mais vers une heure nous remarquâmes, sur l'une et l'autre bandelette, une tache rosée, colo-

ration qui augmenta un peu jusque vers trois heures et s'arrêta alors définitivement; ces deux taches n'avaient que deux centimètres de diamètre, les autres parties du papier étaient blanches.

4° Le bocal contenant de l'eau bouillie et des feuilles de lilas, mis à côté de la cloche remplie de gaz acide carbonique, n'éprouva aucun changement; à peine vîmes-nous s'élever quelques bulles d'air, retenues par les feuilles ou dégagées de l'eau de végétation contenue dans la plante au moment où elle fut cueillie. L'expérience fut prolongée pendant vingt-quatre heures, et voulant nous assurer que ces feuilles jouissaient de vitalité, qu'elles pouvaient fonctionner, nous les plaçâmes sous une cloche pleine d'air, et elles donnèrent promptement de l'Ozone.

5° La cloche contenant 12 litres d'acide carbonique, en avait perdu 8 litres, le lendemain à 8 heures du matin; ils avaient été absorbés par l'eau du baquet; celui-ci contenait 21 litres d'eau bouillie recouverte par deux litres d'huile.

Quelque concluante que nous parût cette expérience, nous crûmes devoir la recommencer encore pour répondre à une objection possible : on pouvait dire que l'eau employée n'avait pas été saturée de gaz acide carbonique, puisqu'elle peut en dissoudre 1,06 de son volume; que cette condition n'ayant pas été remplie, les plantes n'avaient pu y trouver une quantité suffi-

sante d'acide carbonique pour en dégager l'oxygène.

L'expérience fut reprise : une cloche contenant six litres d'acide carbonique fut placée à côté d'un bocal, d'un litre de capacité, renfermant des feuilles d'espèces différentes et de l'eau bouillie; la totalité de l'eau bouillie, versée dans le baquet était de quatre litres; une forte couche d'huile la recouvrait : en trois jours toute l'eau du baquet monta dans la cloche où était l'acide carbonique, et celui-ci resta en excès. Malgré ce long espace de temps et la saturation de l'eau par l'acide carbonique, le bocal renfermant les feuilles ne contenait pas de bulles d'air : mises ensuite sous un vase avec de l'air atmosphérique, et exposées à la lumière, elles donnèrent promptement de l'Ozone.

Ajoutons encore que nous versâmes un peu d'eau de chaux dans l'eau où plongeaient les feuilles et qu'elle devint à l'instant d'un blanc laiteux.

Une nouvelle objection pouvait encore être faite ; on pouvait dire : les plantes que vous avez mises dans l'eau contenant de l'acide carbonique ont été entravées dans l'accomplissement de leurs fonctions par la présence et le poids de l'eau, car on sait que les feuilles des plantes ralentissent leurs sécrétions lorsqu'il y a beaucoup d'eau dans l'atmosphère. Pour répondre à cette observation nous fîmes l'expérience suivante :

Troisième expérience — Un grand entonnoir en verre, fermé à son col par un bouchon, fut rempli d'eau pour

en expulser l'air, puis nous y introduisîmes du gaz acide carbonique ; le bouchon fut enlevé momentanément pour introduire par le col un papier ozonométrique, ce qui était sans inconvénient puisque la pesanteur du gaz acide carbonique s'opposait à ce qu'il s'échappât ; le bouchon fut remis en place et luté soigneusement. Des feuilles de groseiller et de lilas furent introduites dans le vase pendant qu'il était encore sur l'eau, puis le tout fut enlevé de l'eau à l'aide d'une assiette creuse ; l'eau qui entourait l'entonnoir fut retirée peu à peu à l'aide d'une pipette et, à mesure que ce liquide baissait, il était remplacé par de l'huile. Lorsque l'eau fut complètement enlevée, la couche d'huile avait trois centimètres de hauteur.

L'appareil fut exposé aussitôt à l'action d'un soleil brillant.

Un quart-d'heure était à peine écoulé que la vapeur d'eau fournie par les feuilles, ternissait les parois intérieures du vase; elle augmenta rapidement et coula en gouttelettes, mais le papier ozonoscopique resta parfaitement blanc.

Comme terme de comparaison nous avions placé, à côté du vase contenant de l'acide carbonique, un bocal posé sur une assiette sans eau et sous lequel se trouvaient de l'air atmosphérique et des feuilles des mêmes arbres : le papier ozonoscopique se colora rapidement.

Cette expérience détruit donc toute objection, et il nous semble parfaitement démontré que les plantes ne fournissent de l'Ozone que lorsqu'elles empruntent l'oxygène soit à l'eau qui le tient en dissolution, soit à l'air atmosphérique. Si elles cessent d'être dans ces conditions, toute sécrétion d'Ozone cesse, ce qui prouve que quand il se dégage de l'oxygène électrisé, il ne provient pas de la décomposition de l'acide carbonique ou de l'eau.

Ces expériences infirment donc de la manière la plus formelle ce qui est admis par les physiologistes : évidemment les uns se sont trompés en expérimentant sans prendre les précautions nécessaires pour éviter l'erreur occasionnée par le dégagement de l'oxygène contenu dans l'eau ; les autres ont reproduit l'erreur sans répéter l'expérience.

La conséquence de ces recherches est que la physiologie végétale est à refaire. Il n'est plus possible, en effet, d'admettre *que l'acide carbonique, absorbé par les feuilles des plantes ou par leurs racines, est décomposé sous l'influence d'un acte vital; que l'oxygène est exhalé et que le carbone se fixe pour former le corps du végétal.*

La théorie doit être radicalement réformée, mais avant de la produire telle que nous la concevons et telle que nous la montre l'observation rigoureuse des faits, arrêtons-nous quelques instants sur la question des *engrais.*

Les physiologistes et les chimistes admettent que les matières azotées forment la partie active des engrais, donnent l'élément indispensable à la vie de la plante.

On ne peut méconnaître que tout ce qui existe a sa nécessité d'être dans la nature; mais quand on examine la composition chimique des engrais on est surpris de la faible quantité d'azote qu'ils contiennent, surtout lorsqu'on la compare à l'importance du rôle qu'on lui fait jouer.

En moyenne, le fumier de ferme désséché à 110° contient; [1]

Carbone........	35,8
Hydrogène......	4,2
Oxygène.......	25,8
Azote..........	2,0
Sels et terre.....	32,2
	100,0

Avec l'humidité, sa composition est représentée par

Carbone.......	7,41
Hydrogène.....	0,87
Oxygène.......	5,34
Azote.........	0,41
Sels et terres...	6,67
Eau..........	79,30
	100,00

(1) Boussingault. Ouv. cit. pag. 716.

La constitution des fumiers varie nécessairement un peu : celui du cheval donne 2,7 pour cent d'azote, à l'état sec ; celui de la vache, 2,6, et celui du porc, 3,4; c'est celui qui en contient le plus.

D'un autre côté, nous constatons que tous les engrais contiennent une grande quantité de carbone; le fumier du cheval en fournit 38,6 pour cent à l'état sec; celui de la vache, 39,8, et la paille qui sert de litière, 48,4 pour cent.

Comment admettre, en présence de ces faits, que le corps dont les proportions sont les plus faibles, et dont le principal caractère est de ne pas stimuler l'organisme vivant, soit précisément celui qui agit le plus activement sur les plantes? Je sais qu'on peut répondre que l'azote joue le rôle de ferment et que d'ailleurs son action sur les plantes peut être toute différente de celle qu'il produit sur les animaux. Ce sont là des assertions ou des hypothèses que n'appuient pas encore des expériences directes. Il est bien vrai que les matières animales, auxquelles on donne souvent le nom de substances azotées, sont utiles, indispensables même à presque toutes les plantes, mais on néglige de parler du carbone qu'elles contiennent en bien plus grande quantité que d'azote. Et cependant ce carbone si abondant n'a pas pu être donné inutilement par la nature; il y a là une nécessité, un but qui, évidemment, n'a pas été suffisamment compris.

Remarquons d'abord que la partie solide des plantes, celle qui en forme en quelque sorte le squelette, est le bois dans les arbres, et la fibre ligneuse dans les plantes herbacées; que le ligneux, exempt de matières résineuses, des substances salines de l'eau, contient, d'après l'analyse de M. Payen [1]

Carbone........	53,8
Hydrogène......	6,0
Oxygène.......	40,2
	100,0

proportion considérable de carbone, mais dont la quantité est augmentée par celle qui se trouve dans la sève et dans les autres parties du végétal.

Ajoutons que les végétaux ont une chaleur vitale qui leur appartient, qu'ils n'empruntent ni à l'atmosphère qui les entoure, ni au sol dans lequel leurs racines sont fixées. Qui donc leur fournit cette chaleur? serait-elle, comme chez les animaux, le résultat de la nutrition et de la respiration? Les belles recherches de MM. Liebig et Dumas ont parfaitement constaté que la vie est une combustion sans cesse entretenue par les aliments introduits dans le tube digestif et brûlés lentement par l'oxygène qui pénètre dans les poumons; qu'ensuite viennent quelques fonctions spéciales qui complètent le

(1) Payen. *Compte-rendu de l'Académie des Sciences*. tom. VIII pag. 169.

mécanisme, favorisent le développement de l'individu, le maintiennent dans ses formes normales et le protègent contre l'action délétère des agents extérieurs.

Cette pensée n'est-elle pas d'accord avec les lois de la nature? Les plantes font-elles exception? tout ce qui vit entretient son existence sous l'empire des mêmes conditions, et, bien qu'on trouve des modifications dans la forme des organes, on reconnaît qu'en définitif, ils remplissent des fonctions identiques.

Voyons si, chez les plantes, les phénomènes se passent dans le même ordre que chez les animaux. En effet, les végétaux respirent, ils absorbent de l'oxygène électrisé, ils exhalent de l'acide carbonique, ils digèrent après avoir pris dans la terre, à l'aide de leurs racines, la nourriture nécessaire à l'accomplissement de leurs fonctions.

La chaleur se produit chez les végétaux comme dans les animaux; ce phénomène de calorification, contesté par quelques auteurs, a été parfaitement démontré par MM. Van Beck et Dutrochet [1] qui, au moyen des aiguilles thermo-électriques de M. Becquerel, ont constaté des élévations très-remarquables de température, surtout au moment de la fécondation, température quelquefois supérieure à celle des animaux

[1] *Compte-rendu de l'Académie des sciences*, 1839, premier semestre, pag. 695 et 741. — deuxième semestre, pag. 613.

dont le sang est le plus actif. On a trouvé neuf degrés dans le spadice de *l'arum italicum*, et dans le spadice du colocasia odorata, on a constaté, le 5 septembre 1838, l'énorme température de 43 degrés centigrades, l'air ambiant n'étant qu'à 21 degrés (1).

Cette élévation de température est exceptionnelle, sans doute, mais quelle que soit la plante, on lui trouve toujours une chaleur qui diffère de celle des corps qui l'environnent. C'est spécialement dans le sommet des tiges jeunes et en plein développement, ainsi que le remarque M. Dutrochet (*Compt. rend.* 21 Nov. 1839) que l'on peut constater l'existence de la chaleur vitale et du paroxysme quotidien auquel elle donne lieu. L'*Euphorbia lathyris* est une des plantes sur lesquelles ces deux phénomènes sont le plus remarquables. M. Dutrochet s'est assuré par l'expérience que certains animaux, dits à sang froid, n'ont pas une chaleur propre supérieure à celle que l'on trouve dans les végétaux.

Comment expliquer ces phénomènes sans admettre une combustion plus ou moins active ? Comment comprendre la conservation de la vie des végétaux sous une température de 20 et 25 degrés au-dessous de zéro ? Evidemment la chaleur fournie par le sol ne rend pas raison de ces résultats. La calorification chez les plantes, comme chez les animaux, est un acte

(1) Richard. — *Physiologie végétale*. Paris, 1846, pag. 431.

de chimie vivante produisant une combustion lente et par suite la chaleur nécessaire à l'entretien de la vie et à l'accomplissement des fonctions. Remarquons encore l'analogie existant entre le moment de la fécondation chez les plantes et l'époque du rut chez les animaux, qui présentent alors, dans les organes de la génération, une excitation fébrile qui en augmente la chaleur.

Reprenons maintenant l'ordre des phénomènes et expliquons-les avec les notions nouvelles que nous avons acquises.

Nous avons constaté que les végétaux transpirent avec une activité surprenante (*Voir pag.* 141). Cette énorme transpiration des plantes, pendant le jour, était indispensable pour la formation de l'Ozone provenant de l'oxygène de l'eau des plantes, puis, pour soustraire les feuilles dont la texture est délicate, à l'action destructrice d'un soleil ardent. Si la plante ne transpirait pas, elle subirait bientôt l'influence de la température extérieure, elle se dessécherait et périrait; mais la vaporisation de l'eau, enlevant sans cesse le calorique surabondant, protège le végétal et le maintient à sa température normale qui, il faut bien le remarquer, est généralement au-dessous de la température ambiante, ce qui est le contraire chez les animaux à sang chaud. Peut-être faut-il ajouter, comme cause de refroidissement intérieur, la décomposition de l'acide carbonique, puis celle de l'eau dont les éléments, l'oxygène et l'hydro-

gène, entrent dans la composition chimique du végétal.

Revenons un instant à l'azote : quel rôle joue-t-il dans l'acte de la végétation? Il doit être très-secondaire puisque l'analyse chimique ne retrouve ce corps qu'accidentellement dans les plantes, et encore dans quelques unes de leurs parties seulement, notamment dans le gluten des céréales; aussi ne sommes-nous pas surpris de voir M. Boussingault déclarer que, *dans les recherches qu'il a rapportées, rien n'a pu lui faire soupçonner que l'azote de l'atmosphère fût absorbé en quantité sensible* (*Ouvrage cité,* pag. 64).

Ne pouvant pas prouver l'absorption de l'azote par les feuilles des végétaux, on a cherché à expliquer l'assimilation de ce principe pendant la végétation par la succion des racines et en admettant que l'azote fixé est originaire du sol. Mais ici encore, les physiologistes, ne pouvant pas apporter de preuve positive, sont réduits à présenter des conjectures: somme toute, on arrive à constater que les matières, dites azotées, contiennent fort peu d'azote et que les végétaux n'en assimilent que des quantités excessivement faibles.

Voici actuellement la théorie nouvelle que les faits nous indiquent.

L'eau exhalée par les feuilles est prise principalement à la terre; cette eau contient beaucoup d'air, et cet air plus d'oxygène que celui de l'atmosphère; l'air de l'eau donnant 33 pour cent d'oxygène, et celui de l'at-

mosphère 21 pour cent seulement. Les racines, en absorbant cette eau, font le vide, action favorisée par la lumière solaire qui active la vaporisation de l'eau : il résulte de ces actes que les gaz et les liquides sont attirés dans la terre, qu'ils sont mis en contact avec les radicelles des plantes, puis absorbés et portés dans toutes les parties du végétal ainsi que les sels et autres substances dissoutes par l'eau.

L'Ozone, sécrété par les feuilles, repris en grande partie par elles à l'aide de leurs fonctions d'absorption, repris aussi par les racines, l'Ozone, disons-nous, entre dans les vaisseaux du végétal, y trouve, mêlés à la sève, les éléments nutritifs fournis par les engrais, si riches en carbone, il brûle ce corps, développe de la chaleur et forme de l'acide carbonique qui sera expulsé pendant la nuit : aspiration et expiration qui sont la représentation des mêmes phénomènes dans l'acte de la respiration chez les animaux.

L'acide carbonique, expulsé pendant la nuit, descend vers la terre par le fait naturel de sa pesanteur spécifique, il pénètre dans le sol, se dissout dans l'eau et arrive dans les canaux du végétal ; là, subissant l'influence de la puissance vitale, il abandonne son oxygène qui se fixe et dépose le carbone qui doit concourir au développement du corps de la plante.

Si on ajoute à ces actes l'introduction de quelques sels, l'assimilation d'une partie de l'eau absorbée, la

décomposition d'une autre partie de ce liquide, ce qui fournit l'hydrogène indispensable au végétal, en quantité supérieure à celle qui est nécessaire pour constituer de l'eau, puis les excrétions dont l'abondance varie selon les saisons et la température, on arrive à obtenir les éléments que l'analyse chimique constate dans la composition des végétaux: ainsi notre théorie, tout en changeant les conditions de la nutrition et du développement du végétal, ne trouble en rien les rapports élémentaires de sa constitution.

Il résulte de cet ensemble de faits que les plantes se font à elles-mêmes l'atmosphère dont elles ont besoin; qu'elles fournissent l'Ozone qui doit les stimuler, et l'acide carbonique qui doit les nourrir; et, s'il était possible de présenter une comparaison qui n'est pas d'une rigueur absolue, nous dirions que les plantes fonctionnent comme les animaux ruminants. Ceux-ci, en effet, introduisent dans leur premier estomac les aliments auxquels ils font subir une préparation qui les rendra assimilables; lorsque cet acte est accompli, les aliments sortent de la panse, remontent dans la bouche de l'animal, y subissent une seconde triturition, descendent dans un second estomac qui les digère et extrait les sucs réparateurs.

Cette théorie, qui n'est que l'expression des faits, s'éloigne complètement des idées admises. Ainsi ce n'est plus de l'oxygène que les plantes exhalent pendant le

jour, c'est de l'Ozone. Ce corps est fourni par l'eau et non par l'acide carbonique décomposé sous l'influence vitale de la plante; l'azote ne joue plus qu'un rôle très-secondaire et le carbone des engrais prend le premier rang.

Si les théories ne conduisaient qu'à des interprétations stériles, elles seraient d'un médiocre intérêt pour les hommes pratiques; mais, dans les sciences, un fait étant toujours lié à un autre fait, on arrive de déduction en déduction, lorsque les observations sont justes, à des conséquences inattendues. Ainsi la théorie des engrais doit nécessairement être modifiée par les interprétations que nous venons de donner sur la vie végétale, et la découverte des sources de l'Ozone atmosphérique doit conduire à la recherche des moyens propres à fournir aux plantes l'agent excitateur nécessaire à leurs fonctions.

Ce moyen est probablement trouvé, il l'était bien avant qu'on ne songeât à l'existence de l'Ozone.

On lit dans l'ouvrage de M. Boussingault : « On doit à M. de Humboldt des observations curieuses sur la propriété que possède le chlore de favoriser énergiquement la germination. L'action du chlore est tellement manifeste, qu'elle s'exerce sur des semences anciennes qui refusent de germer quand on les place dans les circonstances ordinaires. Les expériences de M. de Humboldt portèrent d'abord sur le cresson (*Lepidium sati-*

vum). Les graines étaient placées dans deux éprouvettes en verre, dont l'une renfermait une dissolution de chlore, et l'autre de l'eau ordinaire. Les éprouvettes furent mises dans l'obscurité, la température étant maintenue à 15°. Dans la dissolution du chlore, la germination eut lieu en six ou sept heures; il en fallut trente-six à trente-huit, pour qu'elle se manifestât dans l'eau.

Dans le chlore, les radicules avaient déjà un développement de 1 millimètre et demi au bout de quinze heures; tandis qu'on les apercevait à peine, après vingt heures d'immersion, sur les graines immergées dans l'eau (1). »

Dans les jardins botaniques de Berlin, de Potsdam et de Vienne, on a tiré parti de cette propriété du chlore, en faisant germer de vieilles graines sur lesquelles tous les essais possibles de germination avaient été infructueux (2). »

Que se passe-t-il dans cette expérience? Est-ce véritablement au chlore qu'il faut rapporter les effets produits? n'est-ce pas plutôt à la formation de l'Ozone? La chimie nous enseigne, en effet, que le chlore a une grande affinité pour l'hydrogène et tous les corps hydrogénés; qu'il décompose même l'eau, surtout sous

(1) Humboldt. — *Flora fribergensis subterranea*, ann. 1793, pag. 156.

(2) Boussingault. Ouvr. cit. pag. 44.

l'influence des rayons solaires, qu'alors se forme l'acide chlorhydrique et qu'il y a dégagement d'oxygène. Or, nous savons maintenant que ce n'est pas de l'oxygène pur qui se dégage dans ces conditions, mais bien de l'Ozone: et comme cet agent est un puissant excitateur de la végétation, il détermine les résultats signalés par les observateurs.

Nous appelons spécialement l'attention des agronomes sur ces recherches; elles doivent avoir des conséquences d'une haute importance; et comme la solution de chlore dans l'eau n'est pas chère, que la fabrication en est facile, l'expérience peut être faite et répétée sur une grande étendue de terrain.

D'ailleurs l'expérience n'est-elle pas faite, chaque année, par la nature elle-même? Personne n'ignore qu'à la suite des orages la végétation redouble d'activité; que les plantes, ainsi qu'on le dit, poussent à vue d'œil; et comme l'Ozone est alors abondant, que l'air en est saturé, il stimule les végétaux et produit ces effets prompts et heureux qui nous étonnent.

Il découle encore de nos observations et de nos expériences que l'eau chargée d'acide carbonique devient un élément utile à la plante, et que les meilleures conditions pour favoriser le développement des végétaux sont de leur fournir l'Ozone qui les stimule et l'acide carbonique qui les nourrit.

Est-ce à dire qu'il faille abandonner les engrais

habituels pour adopter exclusivement les moyens que nous indiquons ? Cette pensée serait une exagération; ceux qui nous la prêteraient commettraient une erreur que nous combattons à l'avance, car nous savons parfaitement que, dans les sciences, plus que partout ailleurs, l'enthousiasme écarte de la vérité.

Occupons-nous un instant des phénomènes opposés. On sait que les plantes dépérissent promptement dans les appartements, qu'elles s'étiolent dans l'obscurité, que leurs tiges, leurs feuilles se décolorent et que leur vie cesse lorsqu'on les maintient trop longtemps dans ces mauvaises conditions.

Si cela se produit ainsi, c'est que l'Ozone leur manque; et si elles échappent à la mort dans les serres, c'est que les rayons solaires traversent le vitrage et permettent la formation de l'Ozone; là encore les plantes les plus riches en fournissent à celles qui ont moins de vitalité, et la végétation se maintient dans des conditions assez satisfaisantes.

L'accumulation de l'Ozone dans les couches supérieures de l'atmosphère nous explique encore le phénomène qui a si souvent étonné les voyageurs qui ont traversé les Alpes ou les Pyrénées. On trouve dans des régions élevées, où l'on pouvait croire la vie en souffrance, des prairies à végétation luxuriante, touffue, abondante. C'est que dans ces régions, les nuages fournissent une quantité considérable d'humidité; que

l'abondance de l'Ozone stimule les fonctions vitales, lutte avec avantage contre le froid de l'atmosphère, et donne enfin à l'herbe des prairies une vigueur surprenante.

Cependant on sait qu'il y a des limites où la végétation cesse sous l'influence d'un froid excessif et prolongé.

Le blanchîment des toiles est encore un fait qui se rattache à la formation de l'Ozone : les végétaux qui le sécrètent, l'eau qui le donne en se vaporisant, accumulent l'oxygène électrisé sur les tissus qu'on veut décolorer, et ce résultat est activé par l'arrosage, lorsque le soleil est ardent.

§ II.

Physiologie des animaux.

Personne ne doute que l'air de la campagne ne soit plus pur et plus salubre que celui des villes populeuses; on recommande aux convalescents l'habitation des côteaux boisés, exposés au midi, et on leur fait espérer, avec raison, le prompt rétablissement de leur santé affaiblie et troublée par la maladie : l'expérience confirme chaque jour ces prévisions et ces promesses.

Lorsqu'on interroge les médecins sur ces faits, ils répondent que l'air est plus pur à la campagne parce que les plantes sécrètent de l'oxygène et que ce gaz

purifie l'air. Cette explication est admise, car elle semble d'accord avec les résultats observés. Cependant, si l'on fait des recherches, on ne tarde pas à concevoir des doutes sur l'exactitude de l'assertion. D'abord les chimistes prouvent que la composition de l'air atmosphérique de la campagne ne contient pas plus d'oxygène que celui des villes; puis, lorsqu'on fait des expériences directes, on constate que les lieux infectés par la décomposition de matières en putréfaction, ne perdent pas leur mauvaise odeur par l'oxygène qu'on y dégage ou qu'on y répand après l'avoir recueilli dans des ballons. Bien plus, nous avons introduit des morceaux de viande dans des flacons contenant de l'oxygène ou de l'air ordinaire, et c'est dans les flacons contenant de l'oxygène que la putréfaction s'est manifestée le plus activement. Ce n'est donc pas à l'oxygène pur qu'on doit attribuer les effets avantageux de l'air à la campagne.

Ne serait-ce pas encore à l'Ozone qu'il faudrait rapporter le mérite de purifier l'air atmosphérique? Voici ce que nos recherches nous ont appris.

Première expérience. — Un morceau de viande, du poids de 270 grammes, dans un état de putréfaction très-avancée, répandant une odeur insupportable, fut plongé, le 23 février 1856, dans un flacon d'une capacité de cinq litres, contenant de l'air ozoné : en une minute, il était complètement désinfecté.

L'expérience fut recommencée quelques instants plus tard : le même morceau de viande, remis à l'air libre, laissa dégager les miasmes les plus infects ; replongé dans un second bocal contenant de l'air ozoné, il perdit, aussi rapidement que la première fois, son odeur repoussante.

Deuxième expérience. — Le lendemain nous prîmes du fumier de cheval, du poids de 300 grammes, répandant la plus forte odeur ammoniacale : nous le plongeâmes dans l'air ozoné d'un bocal et l'odeur disparut presque instantanément.

Troisième expérience. — De l'eau infecte, provenant d'un baquet à macération de l'amphithéâtre de l'hôpital militaire de Metz, fut versée dans un flacon contenant de l'air ozoné ; cette eau fut agitée et l'odeur disparut à l'instant.

Ces expériences, bien que très-intéressantes par leurs résultats, nous parurent faites dans des limites trop étroites pour conduire à des applications pratiques ; nous les recommençâmes sur une plus large échelle.

Quatrième expérience. — Le 19 mai 1856, nous fîmes mettre dans une salle libre de l'hôpital militaire, cubant près de onze cents mètres, deux tas de fumier de cheval, espacés à dix mètres. Ce fumier avait été choisi à cause de son état de putréfaction avancée et de l'odeur ammoniacale qu'il répandait ; nous le laissâmes séjourner deux jours et deux nuits. Lorsque la

salle fut bien infectée, nous répandîmes l'air ozoné contenu dans quatre bocaux de la contenance de six et de huit litres chacun. L'odeur ammoniacale diminua sensiblement, mais ne disparut pas entièrement; le fumier, resté en place, continuant à fournir des vapeurs infectes.

L'expérience fut recommencée le lendemain, mais, cette fois, après l'enlèvement du fumier. L'air ozoné, contenu dans les mêmes vases que précédemment, fut répandu sur les lieux où étaient les foyers d'infection; l'odeur ammoniacale disparut complètement, et même si promptement que ce fut un sujet d'étonnement pour toutes les personnes qui m'environnaient.

Voilà donc l'action de l'Ozone parfaitement démontrée en ce qui touche les gaz hydrogène sulfuré, carboné et l'ammoniaque. En est-il de même des miasmes dont nous ignorons la composition chimique? Il est permis de le supposer.

Des expériences analogues avaient déjà été faites par M. Schœnbein. Il prit un flacon de 60 litres contenant de l'air assez fortement ozoné pour que le papier réactif passât, presque instantanément, au bleu foncé dès qu'on le mit dans le flacon : il y plongea un morceau de viande putréfiée du poids de quatre onces; pendant plus de neuf heures l'air ambiant n'a pas présenté la moindre odeur fétide. Durant ce laps de temps, l'expérimentateur essaya, de demi-heure en

demi-heure, l'air du flacon, et il trouva que l'Ozone diminuait continuellement; mais tant que le papier réactif a indiqué la présence de l'Ozone libre, il eût été impossible au nez le plus délicat de percevoir la moindre odeur fétide. Aussitôt que le papier réactif ne fut plus influencé, l'odeur nauséeuse se montra de nouveau.

M. Schœnbein conclut de cette expérience que toutes les substances miasmatiques produites par ce morceau de viande en putréfaction, dans un intervalle de neuf heures, ont été complètement détruites par l'Ozone contenu dans le flacon de soixante litres.

Or, en admettant que le dégagement des substances miasmatiques a marché uniformément pendant ces neuf heures, on est amené à conclure que ces quatre onces de viande en putréfaction ont miasmatisé $9 \times 60 = 540$, ou 32,400 litres d'air, juste aussi fortement que 60 litres d'air qui avaient été imprégnés de miasmes en une minute par les mêmes quatre onces de chair putréfiée.

Mais quel était le poids de l'Ozone qui a désinfecté 32,400 litres de cet air fétide ou détruit les miasmes qui ont été émis pendant neuf heures par les quatre onces de chair putréfiée? il résulte des expériences de M. Schœnbein que 60 litres d'air, aussi fortement ozonés que possible, sont capables de transformer environ 87 milligrammes d'argent en 100 milligr. de peroxyde de ce métal, ce qui équivaut à 13 milligr. d'oxygène.

Or soixante litres d'air atmosphérique, pesant environ 78,000 milligrammes, contiennent, s'ils sont fortement ozonés au moyen du phosphore, environ 13 milligr. d'oxygène, d'où il suit que l'air atmosphérique, ne contenant qu'un 6 millième d'Ozone, a la puissance de désinfecter 540 fois son volume d'air, aussi chargé de miasmes que peuvent l'être 60 litres d'air par le séjour de 4 onces de viande putréfiée pendant une minute.

Ces données montrent que les substances miasmatiques, bien qu'elles soient susceptibles d'affecter très-fortement le sens de l'odorat, n'existent en réalité qu'à des quantités infinitésimales, et il s'en suit qu'il suffit de quantités extrêmement minimes d'Ozone dans l'atmosphère pour détruire les molécules miasmatiques qui y sont versées par les matières organiques en putréfaction.

Ces expériences concordent parfaitement avec celles de Dupuytren qui a prouvé qu'il suffit de 1/800 d'hydrogène sulfuré dans l'air respiré, pour tuer des oiseaux en quelques secondes, et que le même gaz produit déjà des accidents graves, lorsqu'il est mêlé à l'air dans la proportion de 1/1000.

Le voisinage des égoûts altère sensiblement la composition de l'air. Déjà nous avons fait remarquer que les papiers ozonométriques, placés à une grande distance de l'un de ces émonctoires dans une des rues de la ville de Metz, n'avaient constaté la présence de

l'Ozone atmosphérique, que quatre fois en six mois. M. Regnauld, qui a publié, dans un travail très-remarquable, l'analyse de l'air de Paris et d'un grand nombre de points de la France, de la Suisse et de l'Espagne, a constaté que l'air recueilli dans un égoût de Paris avait perdu une quantité très-notable d'oxygène; la composition de cet air était :

Oxygène............	13,79
Azote...............	81,21
Acide carbonique... .	2,01
Hydrogène sulfuré....	2,99
	100,00

Ces faits établis, on comprend de suite l'importance du rôle de l'Ozone dans notre atmosphère : c'est lui qui est chargé de purifier l'air des miasmes qui en troublent la pureté; c'est lui qui nous permet de vivre à la surface de la terre qui, bientôt, serait rendue inhabitable par la décomposition incessante des matières organiques, animales et végétales.

L'Ozone a donc pour grande mission, outre les actions spéciales que nous lui connaissons déjà, d'être le grand purificateur de l'air; il joue, par rapport à notre globe, le rôle du chlore que nous employons pour purifier nos appartements.

Mais si l'Ozone est un agent de purification, il est aussi un excitant énergique pouvant troubler nos fonctions vitales, et même occasionner la mort s'il est

trop concentré: des expériences directes justifieront bientôt ces assertions. Il y aurait donc danger à favoriser son accumulation au-delà de justes limites. La nature, toujours admirable, a évité cet inconvénient par la combinaison la plus simple et la plus prompte. *Les miasmes oxydables sont détruits par l'Ozone, mais celui-ci à son tour est détruit par les miasmes*; merveilleux mécanisme qui protège la vie, maintient la pureté de l'air ou la lui rend lorsqu'il l'a perdue.

Toutefois il est possible de comprendre, et on doit même admettre comme certain, qu'il peut se présenter des conditions où l'équilibre se trouve rompu soit par excès soit par insuffisance d'Ozone dans l'air atmosphérique.

Si le vent vient du nord, si l'air est pur, la terre congelée, la production des miasmes peu considérable; l'Ozone, ne trouvant pas de cause de destruction, se conserve, s'y accumule et devient un excitant pour nos organes.

Lorsqu'au contraire la température est élevée, l'élément miasmatique abondant, l'Ozone est détruit à mesure qu'il se forme, et un nouveau danger menace notre existence.

L'Ozone peut donc être, d'une manière directe ou indirecte, la cause première de plusieurs maladies. Nous reviendrons plus loin sur ce point important de la question.

Etudions actuellement les effets produits sur les animaux par l'air atmosphérique trop fortement ozoné.

L'Ozone, en pénétrant dans les poumons, les surexcite vivement; le hasard m'en fit faire une expérience personnelle. Je venais de préparer, à l'aide du phosphore, de l'air fortement ozoné, et voulant le faire passer d'un flacon dans un autre à travers l'eau, une grosse bulle s'en échappa; à l'instant je sentis ma poitrine se serrer, mes muscles se contracter, j'éprouvai une gêne qui me rappela celle qu'on ressent dans un accès d'asthme, maladie dont j'ai plusieurs fois éprouvé les atteintes.

Un autre jour, plusieurs personnes de ma famille respirèrent de l'air fortement ozoné; elles se plaignirent d'abord de l'impression fâcheuse produite sur l'odorat, puis d'une astriction à la gorge, d'un malaise général, enfin d'une agitation qui troubla leur sommeil.

Ces effets indiquaient suffisamment qu'une dose d'Ozone plus forte ou plus prolongée pourrait amener des troubles sérieux et peut-être la mort; nous résolûmes de nous en assurer par des expériences.

Première expérience. — Une souris fut mise dans un grand bocal contenant de l'air fortement ozoné; à l'instant elle fit des bonds incroyables pour sa force et sa stature; ces bonds équivalaient à 33 centimètres, et probablement ils eussent été plus élevés si la souris n'eût pas été arrêtée par la vessie qui fermait le flacon. Après cinq minutes d'une surexcitation extrême,

la souris s'affaissa, elle parut gonflée, sa tête rentra dans les épaules, la respiration s'accéléra, les paupières s'ouvrirent et se fermèrent rapidement, puis survinrent des contractions convulsives qui la soulevaient sur ses pattes de derrière, mais la laissaient retomber promptement: après une demi-heure d'angoisse, la vie s'éteignit au milieu de quelques nouveaux mouvements convulsifs.

Deuxième expérience. — Le 1er avril 1856 nous introduisîmes, dans un bocal d'une capacité de six litres, un oiseau de l'espèce *Verdière;* l'air y était complètement ozoné, la préparation avait été faite à l'aide du phosphore pendant plusieurs heures de la journée: la température était à + 20°. A peine l'oiseau y est-il, qu'il éprouve un très-grand malaise, la tête se porte en arrière, le bec s'ouvre largement, la respiration s'accélère, la poitrine se gonfle, les plumes se hérissent. L'état de souffrance était si prononcé, que nous crûmes imminente la mort de l'animal, mais, tout-à-coup, par suite d'un mouvement imprimé au vase, l'oiseau semble se réveiller et prendre de nouvelles forces, il saute plusieurs fois en s'élevant jusqu'au sommet du flacon, ses paupières, constamment fermées jusqu'alors, s'ouvrent, en un mot il semblait être dans un état beaucoup plus satisfaisant. Mais bientôt la respiration s'embarrasse de nouveau, le bec s'ouvre, les mandibules s'agitent, se rapprochent sans jamais se fermer complètement; quelques instants plus tard l'oiseau rentre

le cou dans ses plumes, éprouve quelques mouvements convulsifs, la respiration devient haletante, la tête est agitée violemment par des mouvements latéraux, les yeux se ferment, les pattes fléchissent, enfin les ailes s'étendent, l'animal fait plusieurs bonds irréguliers et il expire. L'expérience dura une heure moins cinq minutes.

Nous versâmes aussitôt dans le bocal un peu d'eau de chaux, elle blanchit rapidement, ce qui nous démontra que la respiration avait été énormément activée et que l'acide carbonique avait été exhalé avec abondance.

Peu d'instants après nous examinâmes le cœur et les poumons. Nous trouvâmes le premier organe dans un état qui nous parut normal, contenant peu de sang; mais les deux poumons étaient remplis d'un liquide spumeux : ils présentaient, à la surface externe, des ecchymoses d'un rouge vif; en incisant ces parties, nous y trouvâmes un engorgement qui constituait un commencement d'hépatisation.

Troisième expérience. — Un petit chat, âgé d'un mois, fut introduit dans un bocal contenant 8 litres d'air fortement ozoné : aussitôt la respiration devint très-gênée, et l'on entendit des miaulements plaintifs. Cinq minutes plus tard, une salive très-abondante et visqueuse s'échappe de la gueule, les pupilles s'élargissent et s'arrondissent complètement; l'animal se dresse sur ses

pattes, qu'agitent des mouvements convulsifs, la sécrétion salivaire augmente; les fosses nasales fournissent aussi un mucus abondant. Après une heure de séjour dans l'air ozoné, la respiration est saccadée, rapide, se répétant quarante-deux fois par minute; les poils se hérissent; après une heure et demie l'animal tombe sur le flanc; lorsqu'il fait effort pour se relever les forces lui font défaut. Cet état se prolonge pendant deux heures ; craignant alors que l'animal ne succombe à l'asphyxie produite par la grande quantité d'acide carbonique qu'il a exhalé, nous le remettons dans un autre bocal de même dimension, contenant également de l'air fortement ozoné. Pendant quelques minutes la vie semble se ranimer, la respiration est moins accélérée, elle ne donne plus que 21 inspirations par minute, mais bientôt la tête retombe, l'animal s'affaisse et il meurt après sept heures de séjour dans l'air ozoné.

Nous versâmes encore de l'eau de chaux dans le bocal, et nous acquîmes ainsi la preuve que l'Ozone avait fait place à une très-grande quantité d'acide carbonique.

A l'autopsie nous trouvâmes la trachée-artère rouge, plus injectée dans quelques points que dans d'autres, contenant un liquide spumeux ; les poumons étaient rouges, ecchymosés, hépatisés dans plusieurs points ; le cœur était vide et d'une couleur normale; le foie ne présentait aucune altération, le sang était fluide, d'un

rouge vif, ne contenant pas de caillot, bien que la mort datât de six heures.

Déjà, en 1850, le docteur Schwartzenbach avait communiqué, à ce sujet, un mémoire intéressant à la société médicale de Würtzbourg.

Ses expériences furent faites sur des lapins qu'il plaçait dans de grands cylindres en verre, dont l'air avait été préalablement ozoné au moyen du phosphore, puis agité avec de l'eau pour enlever les vapeurs d'acide phosphorique qui auraient pu s'y trouver. Un papier ozonoscopique bleuissait presque instantanément lorsqu'on le plongeait dans le vase.

Les lapins furent laissés, en général, pendant deux heures dans les cylindres; on remplaçait ceux-ci à mesure que l'Ozone y était épuisé; on constata ainsi que les lapins consommèrent chacun 50 à 60 litres d'air ozoné.

Les symptômes observés durant l'expérience furent: Dyspnée très-forte presque immédiatement; expirations brusques et fréquentes; faiblesse dans les jambes; écume à la bouche; râles dans la trachée; mort avec des mouvements convulsifs.

M. Schwartzenbach, désirant savoir quelle est, dans 60 litres d'air, la quantité d'Ozone nécessaire pour tuer un lapin, fit un grand nombre d'analyses et trouva, qu'en moyenne, 60 litres d'air fortement ozoné transforment 0gr,17 d'argent en peroxyde; c'est-à-dire pro-

duisent $0^{gr},20$ de peroxyde d'argent. Or, $0^{gr},20$ de peroxyde contiennent $0^{gr},03$ d'oxygène. Il suffit donc de $0^{gr},03$ d'Ozone mêlés à 60 litres d'air, ou, pour exprimer le rapport en fraction, il suffit que l'air contienne 1/2000 de son poids d'Ozone pour tuer un lapin en deux heures.

D'un autre côté, nous avons vu qu'un 6 millième d'Ozone a la puissance de désinfecter 540 fois son volume d'air aussi chargé de miasmes que peuvent l'être 60 litres d'air par le séjour de 125 grammes de viande putréfiée pendant une minute.

Les professeurs Schœnbein et Miescher, de Bâle, ont fait aussi des expériences sur les animaux et sont arrivés aux mêmes résultats que ceux que nous avons notés : mais les travaux de ces derniers auteurs, sur ce sujet, ne sont pas encore publiés.

M. Bœckel fils (1) s'est livré à des expériences du même ordre, mais en suivant une voie un peu différente. Il s'est servi d'une cage en bois de la capacité de 150 décimètres cubes. Le plancher de l'appareil était formé par un tiroir en zinc destiné à recevoir les excréments des animaux et à permettre un nettoyage facile.

(1) **De l'Ozone :** *Thèse soutenue devant la faculté de Strasbourg, le* 19 *Mai* 1856, *par M.* E. Boeckel. — C'est le travail que nous avons annoncé, page 16 de notre ouvrage, et que nous regrettons d'avoir reçu trop tard pour profiter des documents utiles qu'il renferme.

L'une des parois latérales était vitrée; les trois autres percées d'ouvertures d'un décimètre carré : celles-ci conduisaient sur de petites consoles placées à l'intérieur de la cage, protégées par un treillage en fil de fer et destinées à supporter des soucoupes contenant du phosphore et de l'eau. De cette façon, l'air qui entrait dans la cage se chargeait d'Ozone en passant sur le phosphore, et l'on pouvait diminuer ou augmenter l'ozonisation à volonté. Tout l'acide phosphorique qui se formait, se dissolvait dans l'eau des soucoupes, puisque l'air de la cage n'a jamais rougi le papier de tournesol. L'expérimentateur s'est aussi assuré, à différentes reprises, au moyen d'une bougie enflammée, que le phosphore n'enlevait à l'air que de petites quantités d'oxygène.

Deux lapins furent d'abord mis dans la cage, sans phosphore; ils étaient très-vifs et mangèrent parfaitement. Le lendemain, on garnit les rayons de phosphore, ils cessent de manger et se blottissent dans un coin. Le surlendemain, l'air est fortement ozoné, le papier bleuit en un quart-d'heure. L'un des lapins porte la tête fortement renversée sur le dos, les paupières sont à demi closes; la gêne de la respiration est extrême; de temps en temps l'animal chancèle, tombe sur le côté, puis se remet dans la première position, et meurt à deux heures après midi : son compagnon, moins malade le matin, succombe dans la soirée après avoir présenté les mêmes symptômes.

En résumé, ces expériences constatent que l'Ozone, à forte dose, c'est-à-dire à 1/2000 environ, produit rapidement une surexcitation des organes respiratoires déterminant un trouble profond, non seulement dans les poumons, mais dans tout l'organisme ; que si la dose est plus faible, l'Ozone provoque subitement un état spasmodique des bronches et des muscles du thorax, et plus tard, son action étant prolongée, des coryzas, des bronchites intenses et des pneumonies. Il n'est pas douteux que si des hommes étaient forcés par profession à être exposés longtemps à l'action de ce corps, ils contracteraient des maladies de poitrine d'une redoutable gravité.

Mais si l'Ozone est un stimulant énergique et dangereux à haute dose, s'il provoque une surexcitation morbide, s'il use la vie, s'il la brûle en quelque sorte, il devient, mêlé à l'air dans de justes proportions, un excitant utile, indispensable à l'accomplissement régulier de nos fonctions. Les habitants des montagnes sont vifs, alertes, énergiques; les hommes qui vivent dans les plaines humides, dans les vallées étroites, obscures, sont lourds, blafards, sans énergie; les effets sont encore plus caractérisés chez les personnes qui vivent constamment dans leur chambre, chez les prisonniers enfermés dans leurs cellules; alors on voit, chez l'homme comme chez les plantes, l'étiolement se produire : la peau pâlit, le sang se décolore, la lymphe domine, tous

les tissus s'amollissent et des maladies graves éclatent.

L'utilité de l'air libre et ozoné ne peut être contestée : la nature inspire de bonne heure aux jeunes enfants l'instinct de respirer l'air pur; à peine peuvent-ils faire quelques mouvements pour manifester leurs besoins ou leur volonté, qu'ils s'agitent et font comprendre qu'il faut les sortir des appartements; dès qu'ils sont en plein air ils éprouvent un bien-être qui les porte au sommeil.

Toutes ces remarques nous dispensent d'insister sur le danger d'habiter le voisinage des marais, des lieux infects où se développent abondamment les miasmes sulfurés, carbonés ou phosphorés; là l'Ozone, constamment employé à la destruction de ces émanations délétères, disparaît et laisse l'homme exposé à toute la puissance des causes morbifères, et comme ces miasmes sont en excès, ils produisent ces fièvres redoutables qui, dans les pays chauds, tuent souvent en quelques heures.

Toutefois on ne peut méconnaître que l'homme, par la puissance et la flexibilité de son organisation, résiste bien mieux que les plantes à l'absence d'Ozone; l'oxygène libre peut lui suffire longtemps, mais les plantes ont besoin de l'oxygène électrisé qui doit stimuler leurs organes faiblement impressionnables; et comme leur température est basse, relativement à l'atmosphère qui généralement les environne, l'oxygène libre serait resté

sans action sur elles. La nature a pourvu au danger qui menaçait les végétaux en leur donnant des fonctions qui leur permettent de former eux-mêmes l'atmosphère dont ils ont besoin.

§ III.

Physiologie du globe terrestre.

Il y a peut-être quelque hardiesse dans l'emploi de l'expression qui forme le titre de ce chapitre. Qui donc connaît assez bien les conditions d'existence du globe terrestre, son passé, son présent, son avenir, pour tracer d'une main sûre les lois de sa vie? Cette objection est fondée. Toutefois on ne peut méconnaître que les travaux de plusieurs hommes éminents ont révélé les premiers âges de notre planète, et que son passé est ce que l'on connaît le mieux. Les savantes recherches de Buffon, de Cuvier, de Brongniart, d'Elie de Beaumont nous font comprendre les temps primitifs, l'incandescence du globe, le refroidissement de sa surface, la formation des volcans, des montagnes, la disposition des terrains, les gisements de mines, et même la structure, la forme, les dimensions des animaux et des végétaux qui furent les premiers habitants de notre monde.

Que reste-t-il à connaître, après cette anatomie laborieuse et profonde, pour tracer les lois de la physiologie? Il reste à saisir les rapports de notre planète avec

les astres et les autres mondes de l'univers; à décrire sa vie intime, ses fonctions de chaque jour; à analyser les phénomènes merveilleux qui nous étonnent, et que nous cherchons à comprendre, parce que la vie du globe est étroitement liée à la nôtre; parce que nous en subissons toutes les influences, et que, semblables à ces parasites, dont l'existence est sous la dépendance d'un être plus fort et plus puissant qu'eux-mêmes, nous succomberions si son appui nous faisait défaut.

Les rapports de notre globe avec les astres de l'univers ont été saisis par le génie des Galilée, des Newton, des Leibnitz, des Képler, des Laplace, etc.; leurs admirables travaux ont élucidé toutes, ou presque toutes les difficultés; de ce côté, la physiologie de la terre est encore suffisamment connue pour satisfaire les esprits les plus exigeants.

Viennent actuellement les mouvements de chaque jour, les phénomènes de chaque heure, les modifications incessantes de l'électricité, de la chaleur, de la vaporisation de l'eau et tous les faits secondaires qui découlent de ces causes premières. Cette étude constitue la *Météorologie,* science obscure qui a exercé la sagacité patiente de beaucoup d'hommes de mérite, mais dont les travaux remarquables n'ont abouti qu'à une collection de faits intéressants, sans découvrir la loi qui les relie et qui préside à leur manifestation. C'est de cette science que nous allons nous occuper.

Dès la plus haute antiquité les hommes ont voulu pénétrer les causes premières des phénomènes météorologiques, mais leurs efforts sont restés stériles. La principale raison de ce fait tient, comme le dit le professeur Kæmtz, à ce qu'on ne fait que des *observations*, dans le sens le plus restreint de ce mot, et qu'on ne peut recourir à l'*expérience*.

On s'est donc borné à enregistrer les faits, à écrire des pages remarquables, mais sans suite et sans liaison, et, pour nous servir d'une comparaison de W. Herschell, nous ressemblons à un homme qui entendrait, çà et là, quelques fragments d'une longue histoire racontée, à des intervalles éloignés, par un narrateur diffus et peu méthodique. En se rappelant ce qui précède, il peut rattacher quelquefois les évènements antérieurs aux évènements présents, mais une foule de lacunes, d'oublis, et le manque de transitions l'empêchent de saisir l'ensemble du roman.

Nous espérons toucher au terme de ces incertitudes; la découverte des sources de l'Ozone sera, nous le pensons, le lien qui va réunir et donner une vie d'ensemble à tous les travaux épars; et si nous pouvons encore employer une comparaison, nous présenterons la *météorologie*, telle qu'elle est aujourd'hui, comme un assemblage de matériaux réunis avec soin, travaillés avec art, destinés à l'édification d'un palais dont le plan existe, auquel il suffit d'un homme ordinaire pour

mettre chaque chose à sa place, et concourir, en établissant l'harmonie, à l'élévation d'un monument utile et majestueux.

Electricité atmosphérique. — Nous n'avons pas hésité, au commencement de cet ouvrage, à rapporter avec détails les faits qui se rattachent à l'histoire de l'électricité atmosphérique. C'était une nécessité de notre position; il ne fallait pas qu'on pût nous objecter que notre découverte n'était que la répétition de faits connus et parfaitement signalés par nos prédécesseurs. En présentant consciencieusement l'inventaire de la science, il sera facile de constater ce que nous y apportons.

Lorsque l'expérience eut démontré que l'atmosphère contient de l'électricité, même sous un ciel serein, on se demanda quelles en sont les causes productrices; on les chercha d'abord dans l'agitation de l'air et dans le mélange des couches de température différente. Lavoisier, de Laplace et Davy, essayèrent de démontrer que les combustions opérées à la surface de la terre devaient être accompagnées d'un dégagement d'électricité. Leurs expériences ne donnèrent que des résultats fort incertains; mais plus tard, M. Pouillet découvrit les circonstances omises par les premiers expérimentateurs. Volta et de Saussure avaient regardé l'évaporation comme une des causes de l'électricité contenue dans l'atmosphère; mais il était encore réservé à M. Pouillet de prouver par des expériences, en apparence très-concluantes, que la végétation

et l'évaporation sont les deux sources principales de l'électricité atmosphérique. Les recherches de M. Becquerel, père, ont complété ces travaux, et il semblait que la science était très-avancée sur ce point, lorsque M. Peltier est venu attaquer la théorie admise, en prouvant que la vapeur d'eau, considérée par ses prédécesseurs comme conductrice de l'électricité, ne contient jamais d'électricité libre lorsqu'elle est au-dessous de 110 degrés. Or, cette température n'étant jamais celle de la surface du globe, les vapeurs électriques qui s'en élèvent ne sauraient provenir de la simple évaporation des eaux salines ou pures.

C'est alors que M. Peltier, après avoir renversé la théorie des auteurs, cherche à expliquer tout différemment l'origine de l'électricité atmosphérique. Selon lui, le globe terrestre étant chargé de fluide résineux, la vapeur d'eau qui s'en élève doit se trouver résineuse comme le globe lui-même : faisant ensuite jouer une action puissante au refroidissement des couches supérieures de l'atmosphère et à la densité des vapeurs qui augmentent avec l'élévation du soleil, il trouve dans ce phénomène des raisons suffisantes pour admettre que les vapeurs inférieures deviennent *vitrées par influence* et, les supérieures, *plus résineuses* qu'elles ne l'étaient.

La dissidence entre les savants est donc complète; les opinions contraires se heurtent, et l'incertitude reste dans les esprits.

Voyons si nous serons assez heureux pour établir l'harmonie et rendre raison de tous les faits restés inexpliqués.

Nos expériences ont complètement démontré, nous le pensons, que l'eau des fleuves, de la mer, et l'eau de toutes les autres sources, à l'exception de l'eau bouillie, dégagent, pendant le jour, une quantité considérable d'oxygène électrisé; que cette quantité peut être évaluée à six centimètres cubes pour une surface aqueuse carrée de 33 centimètres de côté: elles ont constaté, en outre, que ce dégagement d'oxygène électrisé commence sous l'influence des premiers rayons solaires, qu'il diminue après midi, et qu'il cesse avec le jour.

Ajoutons que la vaporisation de l'eau fournie par les végétaux est une source d'oxygène électrisé, encore plus abondante que la précédente.

Mais l'oxygène ayant une pesanteur qui ne lui permet pas de s'élever dans les hautes régions de l'atmosphère, qui donc va l'y transporter? Ce sont les vapeurs aqueuses qui, selon les degrés de température de l'atmosphère acquièrent une tension qui les rend plus légères que l'air. Ces vapeurs s'élèvent et emportent avec elles l'Ozone, c'est-à-dire l'oxygène électrisé. Si ce fait capital est exact, il doit servir à nous rendre compte de tous les phénomènes de l'électricité atmosphérique, si variés et si compliqués qu'ils soient. Occupons-nous d'abord des mouvements diurnes et nocturnes.

Nous avons vu qu'au lever du soleil l'électricité atmosphérique est faible; qu'elle augmente progressivement en été jusqu'à huit ou neuf heures, en hiver jusqu'à dix heures ou midi. La raison de ces faits est facile à donner, puisque c'est à l'action du soleil que sont dues la formation de l'Ozone et l'augmentation progressive des vapeurs d'eau. Mais pourquoi, en été, la tension électrique est-elle moins forte à midi, et surtout à deux heures qu'à neuf heures du matin? C'est qu'à midi, et surtout à deux heures la terre, fortement échauffée par la réfraction des rayons solaires, fournit moins de vapeurs d'eau et par cela même moins d'Ozone; qu'en outre, les couches inférieures de l'air sont très-dilatées par la chaleur, et qu'en réalité il y a peu d'électricité à une petite distance du sol. Mais l'électricité produite précédemment se retrouve facilement dans les couches un peu élevées de l'atmosphère, et M. Quetelet a eu raison de dire que *l'intensité électrique de l'air croît proportionnellement aux hauteurs.*

Après avoir atteint son premier *maximum* vers huit ou neuf heures, en été, et son premier *minimum* vers deux heures, l'électricité croît de nouveau, elle augmente très-sensiblement au moment du coucher du soleil, et une heure et demie ou deux heures après, on constate un second *maximum*. C'est qu'alors les vapeurs de l'atmosphère refroidies, sont redescendues vers la terre, et y ont ramené l'Ozone; puis la rosée

tombe, la quantité d'eau diminue, et, avec elle, la tension électrique, ce qui reproduit un second *minimum*.

Les choses se passeront avec cette régularité aussi longtemps que des phénomènes accidentels ne viendront pas la troubler ; mais si le vent change, si un orage éclate, s'il se présente une cause quelconque de perte d'électricité, l'ordre est interverti, et il se présente des anomalies qu'il est encore facile d'expliquer.

Si notre théorie est l'expression exacte des faits, on doit constater qu'il y a plus d'électricité positive dans les régions atmosphériques où il existe beaucoup de vapeurs d'eau, et plus d'électricité négative dans les conditions contraires. Consultons les observateurs.

Voici comment s'exprime M. Quetelet : « Pendant plus de quatre années qu'embrassent nos observations, l'électricité n'a été observée *négativement que* 23 *fois*. Il est à remarquer qu'elle n'a été observée négativement qu'une seule fois pendant les quatre mois d'octobre, novembre, décembre et janvier : cette électricité négative précédait ou suivait, en général, des pluies et des orages [1] »

Ainsi, c'est au moment des perturbations atmosphériques seulement que l'électricité négative se manifeste quelquefois près du sol.

A mesure qu'on s'élève dans les hautes régions de

[1] *Ouvr. cit.*, pag. 170.

l'atmosphère, les vapeurs d'eau diminuent, ce qu'atteste parfaitement l'hygromètre. Biot et Gay-Lussac, en rendant compte de leur voyage aéronautique, exécuté le 24 août 1804, rapportent que, parmi les faits qui les ont frappés, ils doivent noter la sécheresse de l'air à mesure qu'ils s'élevaient : « L'hygromètre, disent-ils, a constamment marché vers la sécheresse, à mesure que nous nous sommes élevés dans l'atmosphère, et, en descendant, il est graduellement revenu vers l'humidité. Lorsque nous partîmes il marquait 80,8 à 16°,5 du thermomètre centigrade; et à 4,000 mètres de hauteur, quoique la température ne fût qu'à — 10°,5, il ne marquait plus que 30°. L'air était donc beaucoup plus sec dans ces hautes régions qu'il ne l'est près de la surface de la terre [1] » Dans un second voyage fait par Gay-Lussac seul, cet auteur rapporte, qu'arrivé à la hauteur de 7,016 mètres, *il avait le gosier si sec qu'il lui était pénible d'avaler du pain.*

Quelle était la nature de l'électricité dans ces hautes régions? Voici, en quelque sorte, la réponse faite par Biot et Gay-Lussac :

« Nous n'avions pas encore essayé l'électricité de l'air, parce que l'observation de la boussole, qui était la plus importante et qui exigeait que l'on saisît des occasions favorables, avait absorbé toute notre atten-

[1] *Voyage aéronautique, etc.*— Extrait du *Moniteur universel* du 12 fructidor an XII.

tion ; d'ailleurs nous avions toujours eu des nuages au-dessous de nous, et l'on sait que les nuages sont diversement électrisés. Nous n'avions pas alors les moyens nécessaires pour calculer leur distance d'après la hauteur du baromètre, et nous ne savions pas jusqu'à quel point ils pouvaient nous influencer. Cependant, pour essayer au moins notre appareil, nous tendîmes un fil métallique de 80 mètres de longueur, et après l'avoir isolé de nous, nous prîmes de l'électricité à son extrémité supérieure et nous la portâmes à l'électromètre : elle se trouva *résineuse*. Nous répétâmes deux fois cette observation dans le même moment : la première, en détruisant l'électricité atmosphérique par l'électricité vitrée de l'électrophore ; la seconde en détruisant l'électricité vitrée, tirée de l'électrophore, au moyen de l'électricité atmosphérique. C'est ainsi que nous pûmes nous assurer que cette dernière était résineuse (1). »

On doit déduire de ces faits la conséquence que l'électricité négative est fournie par le globe terrestre ; qu'elle se maintient dans l'atmosphère aussi longtemps qu'elle n'est pas détruite ou écartée par les vapeurs d'eau qui tiennent l'Ozone en suspension ;

Que l'électricité positive, transportée dans l'atmosphère par l'Ozone, se maintient dans les couches inférieures

(1) *Même Voyage*, idem.

et moyennes de l'air et qu'enveloppée, par la vapeur d'eau, dans des conditions que nous indiquerons plus loin, elle s'élève et s'abaisse selon l'élévation ou l'abaissement de température agissant sur les vapeurs d'eau de l'atmosphère.

Parmi les anomalies apparentes de l'électricité, l'un des faits qui ont le plus surpris les observateurs c'est la manifestation de ce fluide en plus grande quantité l'hiver que l'été. Les recherches de Biot, d'Arago, de Turley, de M. Quetelet concordent sur ce point. Dans les temps sereins, le *maximum* de Janvier est de 1133° et le *minimum* de Juillet 35°, ce qui donne 32 pour le rapport de ces nombres. Mais ce chiffre baisse sensiblement si on prend la moyenne de l'année; dans ce dernier cas le *maximum* et le *minimum* ont pour valeur respective 605 et 47, ce qui constate que l'électricité en Janvier est treize fois aussi énergique qu'au mois de Juin.

Comment expliquer des faits si directement en opposition avec les apparences et même avec le sentiment général. Ne dit-on pas à chaque instant, pendant l'été, que le temps est lourd, que les forces sont défaillantes parce qu'il y a beaucoup d'électricité dans l'atmosphère? N'attribue-t-on pas la fréquence des orages dans cette saison à l'abondance du fluide électrique?

Ces opinions ne seraient-elles que des erreurs de nos sens? Nous ne le pensons pas.

On ne peut mettre en doute que la vaporisation de l'eau ne soit incomparablement plus forte l'été que l'hiver; or nous savons que la quantité d'Ozone formée est proportionnelle à la quantité d'eau vaporisée; l'électricité positive produite est donc beaucoup plus abondante l'été que l'hiver.

Mais ces vapeurs d'eau, éloignées de la terre par l'échauffement du sol, emportent avec elles l'oxygène électrisé, et ce qui reste dans les couches inférieures de l'air, se combinant encore avec une partie de l'électricité négative du sol, disparaît en entier ou en presque totalité, ce qui nous jette dans l'état de malaise et d'abattement où nous sommes pendant les temps orageux. Et comme nos observations se font à une petite distance du sol, nos instruments nous trompent, parce qu'ils n'indiquent que l'état électrique de la petite portion d'air dans laquelle ils sont plongés. Elevez-vous au contraire dans les régions supérieures de l'atmosphère et vous soutirerez, comme l'ont fait Franklin et de Romas, une quantité si prodigieuse d'électricité positive *que vous obtiendrez des lames de feu de* 9 *ou* 10 *pieds de longueur et d'un pouce d'épaisseur, faisant autant de bruit que des coups de pistolet.*

Si l'électricité est plus apparente pendant l'hiver, quoiqu'il s'en produise moins, c'est que la perte en est moins considérable; c'est qu'aussi le froid de l'atmosphère refoule vers la terre les nuages qui en sont chargés.

Occupons-nous actuellement de la théorie des *orages*.

Ne semblerait-il pas inutile, au premier aperçu, de nous arrêter sur un sujet si largement traité par Franklin, de Saussure, Arago et un grand nombre d'autres physiciens célèbres? Et cependant, que de lacunes dans la théorie admise, combien de faits signalés et restés inexpliqués! Essayons d'y porter quelque lumière.

On ne peut contester que l'*éclair* est produit par la combinaison des électricités contraires, et que le *tonnerre* est le bruit occcasionné par la vibration de l'air ébranlé par le fluide électrique. Mais les orages se forment-ils tous de la même manière?

Les auteurs gardent le silence sur cette question; nos recherches nous permettent de répondre: *non*, les orages ne se forment pas tous de la même manière, et la découverte des sources de l'Ozone va servir à justifier notre assertion; aussi n'hésitons-nous pas à admettre une triple division: 1° *les nuages orageux;* 2° *les orages partiels de l'atmosphère;* 3° *les orages généraux.*

1° *Les nuages orageux.* — En admettant par la pensée l'existence d'une nappe d'eau circonscrite, ou d'une végétation vigoureuse sur une partie du sol, on comprendra que, dans ce lieu, sous l'influence solaire, il se produira une quantité considérable d'Ozone; que ce corps, porté dans l'atmosphère, par la vapeur d'eau qui se condense en s'élevant, forme un nuage

fortement chargé d'électricité positive; si le vent vient alors à le pousser vers un des points élevés du sol, l'électricité négative qui s'en échappe tendra à se combiner avec l'électricité positive du nuage, et si la tension des deux électricités est assez forte, la combinaison s'opérera, le tonnerre éclatera. Franklin, de Saussure, et la plupart des physiciens, ont considéré le fait comme impossible; mais Bergman et Duhamel du Monceau ayant vu la foudre tomber d'un très-petit nuage sur un clocher, tandis que le ciel était parfaitement clair, il a bien fallu accepter ce fait quoi qu'on n'en pût donner l'explication.

Il en est de même des *boules fulminantes* qui produisent quelquefois les plus violentes détonations. Lorsqu'une de ces *boules* frappa le vaisseau le *Montague*, en pleine mer, le 4 Novembre 1749, le bruit, d'après la relation du *Master Chalmers*, fut celui de plusieurs centaines de canons qui partiraient tous à la fois, mais il ne dura pas plus d'une demi-seconde (1).

Ce fait est encore un exemple d'un nuage saturé d'électricité positive rencontrant un corps chargé d'électricité contraire, et produisant instantanément une décharge effroyable.

2° *Les orages partiels de l'atmosphère* s'expliquent

(1) Arago. — Ouv. cité, pag. 291

avec une égale facilité. Nous avons déjà dit que Hossard avait indiqué à Arago un signe précurseur des orages qui n'avait pas été signalé avant lui. Cet officier a remarqué que, durant les grandes chaleurs, il se produit tout-à-coup, sur plusieurs points de la couche des nuages inférieurs, des soulèvements qui se prolongent comme de longues fusées verticales, et à l'aide desquels des régions atmosphériques assez distantes peuvent se trouver en communication immédiate.

N'est-ce pas encore là un effet des électricités contraires ? Les nuages inférieurs, chargés d'électricité positive par l'Ozone qu'ils récèlent, sont attirés par l'électricité négative des couches supérieures de l'air, et il se forme ces soulèvements qui paraissaient étonnants et inexplicables.

Les éclairs s'échappent quelquefois des nuages par leur surface supérieure et se propagent dans l'atmosphère de bas en haut. Arago rapporte, à l'occasion de ce fait, l'observation suivante : « Il y a dans la Styrie, une montagne fort élevée qu'on appelle le *mont Ste-Ursule,* au sommet de laquelle une église a été bâtie. Jean-Baptiste Werloschnigg, médecin, qui visitait cette église le 1er Mai 1700, vit se former vers la moitié de la hauteur de la montagne, des nuages très-épais et très-noirs qui furent bientôt le foyer d'un grand orage. Le ciel continua à rester très-serein au sommet; le soleil y brillait du plus vif éclat; chacun pouvait

donc se croire en parfaite sûreté dans l'église, et, cependant, *la foudre partie du nuage inférieur* y alla tuer sept personnes à côté du docteur Werloschnigg [1]. »

Un remarquable exemple d'orage partiel est signalé par Hutchison que cite Arago : « A la Jamaïque, depuis les premiers jours de novembre jusqu'au milieu d'avril, les sommets des montagnes du *Port-Royal* commencent à se couvrir de nuages entre onze heures et midi. A une heure, ces nuages ont acquis leur *maximum* de densité; la pluie s'en échappe par torrents, des éclairs les sillonnent dans tous les sens; enfin le tonnerre, auquel ils donnent naissance, fait entendre ses sourds roulements jusqu'à Kingston. Vers deux heures et demie le ciel a repris sa sérénité. Ce phénomène, dit Hutchison, se reproduit tous les jours pendant cinq mois consécutifs [2]. »

L'explication de ces faits est maintenant trop facile pour que nous nous étendions longuement : on comprend de suite que le soleil, vaporisant une grande quantité d'eau, charge les nuages d'Ozone ; que ceux-ci, arrivés à leur *maximum* de tension électrique, réagissent sur la terre électrisée négativement, provoquent des décharges, et de là les éclairs, le tonnerre, la pluie, etc.

(1) ARAGO — **Sur le Tonnerre**, pag. 266.

(2) ARAGO. — *Ouv. cité*, pag. 397.

3° *Les orages généraux.* — Les orages qui se forment à de grandes hauteurs dans l'atmosphère, parcourent quelquefois d'énormes distances : ou en a vu s'étendre progressivement d'une extrémité à l'autre de la France et y occasionner des ravages affreux. Ici ce sont des causes larges et puissantes qui déterminent ces effets terribles. Pour en rendre raison il suffit de se rappeler la formation de l'Ozone et d'associer ce fait à la direction des vents et à la hauteur des nuages.

Les eaux de la mer, qui sont la source la plus abondante de l'oxygène électrisé, fournissent en même temps à l'air atmosphérique une énorme quantité de vapeurs d'eau. Lorsque le vent s'élève et pousse avec force ces vapeurs électrisées vers la terre, elles rencontrent une masse d'air qui leur fait obstacle et les force à gagner les régions supérieures de l'atmosphère ; là, elles se refroidissent promptement, passent à l'état de nuages d'un aspect souvent menaçant. Dans les régions de l'est de la France, c'est surtout sous l'influence du vent du sud que ces phénomènes se produisent. Ces nuages orageux atteignent souvent une grande hauteur, de Humboldt en a vu à plus de 4,620 mètres au-dessus du niveau de la mer ; de Saussure, à 4,840 mètres, et MM. Barral et Bixio, pendant leur voyage aéronautique du 27 juillet 1850, ont traversé un nuage qui avait 5,000 mètres de hauteur.

Lorsque des masses de vapeurs aussi effrayantes sont

chargées d'électricité positive, elles font l'effet d'une gigantesque bouteille de Leyde, lançant des décharges dans toutes les directions; aussi le tonnerre, dans ces circonstances, ressemble-t-il à un feu roulant d'artillerie. Si le vent continue à pousser le nuage, il poursuit sa marche jusqu'à ce que l'électricité surabondante dont il est chargé soit épuisée, ce qui se produit, en général, dans des temps assez courts, car la terre et les régions les plus élevées de l'atmosphère, étant électrisées négativement, soutirent l'électricité positive du nuage orageux et opèrent la recomposition des deux électricités.

Mais dans un grand nombre de cas le refroidissement de l'atmosphère refoule les nuages orageux vers la terre; ils s'en rapprochent quelquefois de si près qu'ils n'en sont plus qu'à la distance de 800 ou de 600 mètres; on cite même un exemple où le nuage orageux n'était qu'à une hauteur verticale de 292 mètres.

Examinons rapidement *la distribution géographique des orages et leur fréquence suivant les saisons.*

Connaissant les sources de l'Ozone, nous pouvons de suite avancer que les orages seront fréquents partout où il y aura une grande vaporisation d'eau, et en même temps production d'électricité négative par la terre. Si ces deux conditions ne sont pas réunies, il ne se produira pas d'orage, quelle que soit la quantité de l'une ou de l'autre électricité répandue dans l'atmosphère.

L'observation constate, en effet, que c'est dans les

pays chauds que les orages sont les plus fréquents. En France, en Angleterre, en Allemagne, le nombre moyen annuel des jours de tonnerre est de 15, rarement il s'élève à 20; tandis qu'à Rio-Janeiro et à Calcutta il est de 50, quelquefois de 60. Dans les régions équatoriales et entre les tropiques, les orages produisent des ravages redoutables; chaque année les journaux nous racontent les désastres occasionnés par les ouragans dans les mers de l'Inde; M. d'Abbadie rapporte qu'il a vu, en Ethiopie, un seul coup de tonnerre tuer deux mille chèvres et le berger qui les gardait.

Dans les régions hyperboréennes et pendant l'hiver de nos climats les orages sont excessivement rares.

Dans la tentative faite en 1827 par le capitaine Parry pour atteindre le pôle nord, du 25 Juin au 10 Août, entre 81° 15′ et 82° 44′ lat. N., il n'aperçut jamais d'éclairs, il n'entendit pas une seule fois le tonnerre. Voici une observation encore plus complète. Un vaisseau échoua à l'est du Spitzberg, vers 75° lat.; sur quatre naufragés, trois demeurèrent six ans trois mois sur cette terre inhospitalière; et ils croient avoir entendu tonner une fois dans ce long intervalle : peut-être encore ont-ils été trompés par le bruit d'une avalanche.

Ainsi, toujours et partout, lorsqu'il y a beaucoup d'eau vaporisée, formation d'Ozone, et en même temps, dégagement d'électricité négative par le sol, les orages

peuvent se produire; leur fréquence sera proportionnelle à l'activité des causes concourant à la manifestation du phénomène.

Mais si des conditions opposées se présentent, il y a absence d'orage. Cette singularité a beaucoup étonné les météorologistes : Arago signale parfaitement ces faits, mais il s'abstient de toute remarque.

Voyons si nous pouvons présenter une explication ayant de la valeur.

Nous connaissons l'origine des deux électricités atmosphériques : l'une est fournie par la terre, c'est l'électricité négative; l'autre par l'eau qui dégage l'Ozone, c'est-à-dire l'électricité positive unie à l'oxygène ; nous savons également que les orages ne sont possibles que lorsque ces deux électricités sont en présence et se combinent : or s'il se trouvait des points du globe où il ne se produisît qu'une seule électricité, évidemment il n'y aurait pas d'orage. Supposons maintenant une immense étendue d'eau qui, sous l'influence des rayons solaires, fournisse incessamment de l'oxygène électrisé positivement, éloigne ou détruise la faible quantité d'électricité négative qui pourrait se trouver dans l'atmosphère; cela étant admis les orages deviennent impossibles ou excessivement rares. Les faits se passent-ils quelquefois ainsi ? « J'ai cru devoir examiner, dit Arago, si, comme on l'a prétendu sans en administrer la preuve, il tonne moins souvent en pleine mer qu'au centre des conti-

nents. Jusqu'ici mes recherches confirment cette opinion. En marquant sur une mappemonde, d'après leurs latitudes et leurs longitudes, tous les points dans lesquels les navigateurs ont été assaillis par des orages accompagnés de tonnerre, il paraît évident, à la simple inspection de la carte, que le nombre de ces points diminue avec l'éloignement des continents. J'ai même déjà quelque raison de croire qu'au-delà d'une certaine distance de toute terre, il ne tonne jamais (1). »

Voilà une affirmation bien positive, justifiée d'ailleurs par des observations récentes.

La même remarque s'applique aux régions polaires où l'étendue des eaux est immense.

Scoresby, qui a fait de nombreux voyages dans les mers polaires, n'y a jamais entendu le tonnerre.

Déjà nous avons dit que le capitaine Parry, voulant atteindre le pôle nord, en 1827, ne vit jamais d'éclairs, n'entendit jamais le tonnerre.

Le navire l'*Hécla* resta à l'ancre, au Spitzberg, du 20 juin au 28 août, et aucun des observateurs n'entendit le tonnerre ni ne vit d'éclairs.

Le fait est donc acquis et régulièrement expliqué.

Mais des conditions opposées peuvent se présenter, c'est-à-dire qu'il y a des lieux où l'électricité positive est nulle, ou, dans tous les cas, si faible qu'elle est sans

(1) Arago. — Ouv. cité. pag. 401.

importance; c'est ce que l'on constate dans le désert du Saharah où la végétation est rare, le terrain sablonneux, et où il n'existe pas de cours d'eau.

Lorsque le redoutable *Simoun* vient à souffler, l'ouragan est effroyable: il soulève des montagnes de sable, mais le tonnerre ne se fait pas entendre.

L'influence d'une seule électricité dans l'atmosphère paraît s'étendre au loin; c'est probablement à cette influence qu'il faut attribuer la rareté et presque l'absence de pluie en Egypte; quant aux orages, ils ne se montrent que sur le littoral de la mer et dans le voisinage du Nil où l'électricité positive peut être fournie par l'Ozone. On sait qu'au Caire il ne tonne que trois ou quatre fois par an, et un peu plus souvent à Alexandrie.

Quant à la rareté des orages pendant l'hiver, dans notre climat, elle s'explique encore facilement. A cette époque de l'année, la végétation se ralentit, les feuilles disparaissent, les rivières gèlent; et bien que les sources de l'Ozone diminuent, ce corps, en raison des propriétés que nous lui connaissons, se maintient dans les couches inférieures de l'atmosphère, retenu par les vapeurs d'eau condensées par le froid, et l'électricité négative règne sans partage dans les hautes régions de l'air.

Des météores aqueux de l'atmosphère. — Après avoir donné l'explication des phénomènes électriques, nous passons à l'étude des météores aqueux.

Lorsque l'eau est exposée à l'air libre, elle perd peu à peu de son poids, et finit par disparaître entièrement; cela constitue le phénomène appelé *évaporation;* il a lieu d'autant plus rapidement et plus abondamment que la température est plus élevée, la surface de l'eau plus étendue, l'air plus sec et plus souvent renouvelé.

Les vapeurs qui s'élèvent de l'eau forment ce que Berzélius a appelé le *gaz aqueux,* bien que le mot gaz soit spécialement employé pour désigner les corps qui, à la pression atmosphérique ordinaire, conservent constamment leur caractère aériforme.

Le gaz aqueux a les propriétés suivantes dans l'état de pureté: il n'a ni couleur, ni odeur, ni saveur; *il est plus léger que l'air.*

L'eau, en passant à l'état gazeux, occupe un espace beaucoup plus grand que celui qu'elle remplissait lorsqu'elle se trouvait à l'état liquide. Cette dilatabilité de l'eau, cette force d'expansion a reçu le nom de *tension.* Elle peut être produite par la chaleur ou par la diminution du poids de l'atmosphère: si l'air disparaissait tout-à-coup, il serait remplacé à l'instant par l'eau qui se vaporiserait sous forme de gaz aqueux.

Pour mesurer la tension de la vapeur à différentes températures, on a recours à un procédé très-simple. On fait monter une goutte d'eau dans une chambre barométrique, et l'on constate que la colonne de mer-

cure descend à l'instant et se tient plus bas que celle d'un bon baromètre placé à la même hauteur et dans les mêmes conditions.

D'après Gay-Lussac, un volume donné d'eau, converti en gaz aqueux, occupe, à 76 centimètres de hauteur barométrique, et à la température de + 100° 1696,4 fois autant d'espace qu'il en occupait lorsqu'il était sous forme liquide.

Lorsque la température du gaz aqueux descend au-dessous de cent degrés, ce gaz se condense et finit par revenir à l'état d'eau liquide. Si le refroidissement a lieu dans l'air, le gaz passe à l'état intermédiaire qui reçoit le nom de vapeur ; il forme alors un amas d'eau aussi divisé que possible, semblable à ceux qui constituent les nuages.

Si la température atmosphérique baisse suffisamment pour que l'eau ne puisse plus se maintenir à l'état de vapeur, il y a *précipitation,* changement qui donne lieu à une foule de phénomènes que nous examinerons plus loin. Pour avoir une idée exacte de ce passage, il suffit de se rappeler ce qu'on observe lorsqu'en été on apporte une carafe d'eau froide dans une salle où l'air est un peu humide; à l'instant elle se couvre de gouttelettes qui constituent une véritable rosée.

L'expansion de l'eau n'est point indéfinie; elle est limitée par la pression atmosphérique et par le degré de température. On dit que l'air est à l'état de *satu-*

ration, lorsque les conditions dans lesquelles il se trouve ne permettent pas qu'il dissolve une plus grande quantité d'eau.

La quantité de vapeur d'eau va en diminuant, ainsi que la chaleur, depuis l'équateur jusqu'au pôle ; le même phénomène se produit, comme nous l'avons déjà constaté, à mesure qu'on s'élève dans les hautes régions de l'atmosphère. En pleine mer, à toutes les latitudes, l'air paraît être à l'état de saturation.

Le passage de l'eau à l'état de vapeur étant le résultat de l'action de la chaleur sur ce liquide, il est évident que la quantité contenue dans l'air doit varier selon les saisons et les différentes heures de la journée. Mais cette quantité est *absolue* ou *relative,* c'est-à-dire que les instruments, appelés hygromètres, employés pour la constater, peuvent trouver une grande humidité dans l'air, tandis qu'en réalité l'atmosphère ne contient qu'une faible quantité d'eau. Cela tient au degré de température qui dilate ou condense la vapeur d'eau : aussi, est-ce pendant l'été, et lorsque l'air semble le plus sec, qn'il contient le plus de vapeur d'eau.

En janvier, mois généralement le plus froid de l'année, la quantité de vapeur est très-faible ; elle atteint son *minimum* et donne, d'après Kæmtz, $4^{mm}509$ pour *tension,* et en même temps l'humidité relative est à son *maximum.*

En juillet, au contraire, mois où l'air est sec, la

quantité de vapeur est considérable, elle atteint le *maximum*, et la tension s'élève à 11mm626.

Aux approches de l'hiver, quand la chaleur diminue, la quantité d'eau qui se vaporise est moins considérable que celle qui se précipite sous forme de pluie, de rosée, de gelée blanche; il en résulte que la quantité d'eau contenue dans l'atmosphère, va toujours en diminuant, tandis que l'humidité augmente continuellement, et donne, en novembre et décembre, les brouillards froids et épais si fréquents dans ces deux derniers mois de l'année.

Les météorologistes, notamment Kæmtz, ont étudié les *variations diurnes de la quantité de vapeur d'eau répandue dans l'atmosphère;* ils ont établi des tables indiquant, heure par heure et mois par mois, la quantité d'humidité relative, et Kæmtz en a déduit, pour le climat de Halle, les lois qui vont suivre.

C'est le matin, avant le lever du soleil, que la quantité de vapeur atteint son *minimum* pendant toute la durée de l'année. En même temps, à cause de l'abaissement de la température, l'humidité est à son *maximum.* A mesure que le soleil s'élève sur l'horizon, l'évaporation augmente, et l'air reçoit à chaque instant une plus grande quantité de vapeur. Mais comme l'air échauffé dissout cette vapeur, il s'éloigne toujours de plus en plus du point de saturation; il paraît sec et l'humidité relative très-faible. Cette marche continue

sans interruption jusqu'au moment où la température atteint son *maximum*.

En hiver, la quantité de vapeur augmente régulièrement jusque vers l'après-midi; lorsque le thermomètre commence à baisser, la vapeur se condense en partie sur les corps froids, et la proportion contenue dans l'air diminue jusqu'au lendemain matin.

En été, les choses se passent un peu différemment: la quantité absolue de vapeur augmente aussi graduellement le matin; mais déjà avant midi elle atteint le *maximum*, en présentant toutefois des différences relatives à l'heure, ce qui fait que ce *maximum* arrive plus tôt ou plus tard suivant les différents mois et les degrés de température.

Ces phénomènes se passent de la même manière en tous pays, mais leur intensité est proportionnelle aux degrés de température des lieux d'observation; ils serviront plus tard à nous faire comprendre les oscillations périodiques et diurnes du baromètre.

Ces considérations générales sur la vaporisation de l'eau dans l'atmosphère suffisent pour nous faire éviter des lacunes dans nos explications, et pour nous permettre d'aborder la question importante des météores aqueux examinés à notre point de vue.

Des vésicules des vapeurs d'eau. — Depuis longtemps de Saussure et Kratzenstein ont constaté, à l'aide du microscope, que les vapeurs des nuages et des brouillards

ne sont pas de véritables gouttelettes d'eau, mais constituent des vésicules aqueuses infiniment petites. Kæmtz a mesuré, par un procédé plus exact que celui de ses prédécesseurs, le volume de ces vésicules, et il a trouvé, qu'en moyenne, le diamètre est d'environ $0^{mm},0224$, diamètre qui varie dans les différentes saisons, et qui paraît être plus petit en été qu'en hiver. Dans cette dernière saison, lorsque l'air est très-humide, le diamètre des vésicules est deux fois plus fort qu'en été, quand l'air est sec ; mais, dans un même mois, ce diamètre change encore ; il atteint son *minimum* quand le temps est très-beau ; il augmente dès qu'il y a des menaces de pluie, et, avant qu'elle ne tombe, il est fort inégal dans le même nuage, qui contient probablement un grand nombre de gouttes d'eau mêlées à la vapeur vésiculaire.

Kratzenstein a déterminé l'épaisseur de l'enveloppe de ces vésicules d'après les anneaux colorés qu'il a observés à leur surface, elle est de $0^{mm},06$ [1].

Ces observations précieuses, bien qu'elles aient précédé nos recherches, les confirment et leur donnent de la valeur ; elles nous permettent de comprendre tous les phénomènes météorologiques aqueux et servent à dissiper l'obscurité qui enveloppait encore la plupart d'entre eux.

[1] Kæmtz. — *Cours complet de Météorologie*, pag. 110.

Connaissant l'existence des vésicules dans les vapeurs formant les brouillards, il nous vint dans la pensée de nous assurer si on les rencontre également dans les vapeurs d'eau dégagées par les plantes et les surfaces aqueuses. Pour y parvenir il fallait trouver un moyen simple et commode de les recueillir.

Voici celui que nous mîmes en usage : de l'eau et des plantes, placées sur une assiette, furent recouvertes d'un bocal à large ouverture; au fond de ce vase étaient fixées, à l'aide de petits morceaux de cire, des lames de verre d'un microscope; tout l'appareil fut exposé au soleil et bientôt les vapeurs d'eau s'élevèrent. Ces vapeurs, se refroidissant par leur contact avec le verre, formèrent de petites gouttelettes d'eau. La lame de verre étant alors détachée, secouée vivement pour chasser l'excédent du liquide, puis portée sous le microscope, nous constatâmes l'existence d'un nombre infini de vésicules de forme ronde, excessivement petites, mais cependant plus volumineuses que celles que Kæmtz a signalées, ce qui tient peut-être à la différence de force de nos instruments.

Cette expérience, fréquemment renouvelée, donna constamment des résultats identiques. Le hasard nous favorisa même quelques fois assez bien pour nous faire voir les vésicules se déplacer et passer d'un point de la couche liquide dans un autre.

Il était intéressant de s'assurer si l'on trouve aussi

des vésicules dans l'eau ordinaire: l'expérience fut faite, et nous constatâmes également la présence de vésicules dans l'eau de pluie, de source et de rivière, ce qui s'explique parfaitement par la dissolution de l'air, et surtout de l'oxygène, dans ces différentes eaux. Mais l'eau distillée bouillie, examinée au microscope, ne présente pas de vésicules.

En faisant cette expérience, on doit prendre la précaution, si l'on se sert de deux lames de verre pour maintenir l'eau entre elles, de faire glisser la lame supérieure, car en la posant directement sur la lame inférieure, on interpose de petites bulles d'air qu'on pourrait confondre avec de véritables vésicules.

Si nous nous rappelons, maintenant, avoir constaté qu'au moment où l'eau se vaporise, quelle qu'en soit la source, il se dégage en même temps une quantité considérable d'oxygène électrisé, nous comprendrons que cet oxygène n'est pas à l'état de liberté, qu'il est entouré par l'eau qui lui fait une enveloppe semblable à celle que nous voyons se produire lorsqu'on souffle dans l'eau de savon; que cette vapeur d'eau, d'une légèreté spécifique plus grande que celle de l'air, emporte l'Ozone, gagne les régions élevées de l'atmosphère et s'y maintient jusqu'à ce que le refroidissement de la température l'en fasse descendre.

Les choses resteront dans cet état aussi longtemps qu'il ne surgira pas de causes venant les troubler. Si le

refroidissement de la température est lent, progressif, les vésicules aqueuses se rapprochent, se serrent les unes contre les autres, crèvent, forment des gouttelettes d'eau qui tombent sous forme de *rosée,* de *serein* ou de *brouillard*; phénomène accéléré par l'air atmosphérique, que la chaleur avait dilaté, et qui revient sur lui-même; dilatation calculée par Davy, qui a prouvé que l'air se dilate à chaque degré du thermomètre d'environ 0,00375 du volume qu'il occupe à zéro, dilatation qui est parfaitement égale à tous les degrés.

Pluie. — La production de ce météore est due aux mêmes causes; mais ici, au lieu d'un simple phénomène de refroidissement des couches inférieures de l'atmosphère, l'effet se produit à de grandes hauteurs; les nuages ont quelquefois une épaisseur de plusieurs milliers de mètres, ils s'accumulent sous l'influence d'un vent chaud, venant du sud ou du sud-ouest qui, dans nos climats, nous arrive après avoir parcouru une grande étendue de mer où il s'est chargé d'une humidité excessive et de beaucoup d'Ozone.

Lorsque ces nuages atteignent les hautes régions de l'atmosphère ils y rencontrent l'électricité négative qui, se combinant lentement avec l'électricité positive des vésicules, détermine leur rupture, et amène ces pluies fines, continues, qui tombent sans amener de grands troubles dans l'atmosphère.

Si les brouillards, qui sont aussi des nuages épais, ne laissent pas tomber une véritable pluie, c'est qu'ils sont dans cette couche de l'atmosphère où l'électricité positive domine, et par cela même qu'il n'y pas de raison pour qu'un grand nombre de vésicules crèvent sous l'influence de la combinaison des électricités contraires; aussi l'eau qui s'échappe des brouillards n'est que le produit du refroidissement et de la saturation relative de l'air; et il suffit d'une légère élévation de température, sous l'influence des rayons solaires, pour dissiper les vapeurs en les dissolvant dans l'air.

Les *pluies d'orage* présentent des phénomènes plus compliqués. Lorsque, sous l'influence des vents de l'Est ou du Nord, le temps a été beau pendant longtemps, et que le vent du Sud ou du Sud-Ouest vient tout-à-coup à souffler, il porte dans les régions supérieures de l'atmosphère, où règne l'électricité négative, des masses d'air qui se refroidissent et ne peuvent plus contenir les vapeurs d'eau à l'état élastique; les vésicules crèvent brusquement, les électricités se combinent, il se fait dans l'air des vides qui déterminent des tourbillons, des courants rapides, l'eau se précipite, tombe à grosses gouttes: phénomènes violents qui ne ne peuvent se prolonger; aussi les pluies d'orage sont-elles de courte durée.

On a cru pouvoir expliquer la largeur des gouttes par la proximité des nuages orageux de la surface de

la terre, se fondant sur ce que l'eau se divise en tombant d'une grande hauteur. C'est précisément le contraire qui existe, ce que démontrent les quantités de pluie recueillies à l'observatoire de Paris. Il y a dans cet établissement deux pluviomètres: l'un sur une terrasse élevée au-dessus du sol de 28 mètres; l'autre, sur le sol, dans la cour. On a constaté, par treize années d'observation, que la quantité moyenne de pluie qui tombe annuellement à Paris, dans la cour de l'Observatoire, est de 56 centimètres, tandis que, dans le même temps, la quantité tombée sur la terrasse est seulement de 50 centimètres. Ainsi l'eau, en tombant, crève de nouvelles vésicules, entraîne, par son poids et par le refroidissement, l'eau des couches inférieures, et augmente le volume des gouttes.

L'*électricité* qui se développe lors de la chute de la rosée, des brouillards et de la pluie, est une nouvelle preuve de l'exactitude de nos assertions. De Saussure affirme n'avoir jamais vu de brouillard sans un développement notable d'électricité positive; « sur les Alpes, dit Kæmtz, j'ai toujours trouvé, dans ces circonstances, une forte électricité positive. »

Les conditions changent lorsque l'eau tombe des régions supérieures de l'atmosphère; les vapeurs qui y sont transportées, sous l'influence de causes que nous indiquerons plus loin, se chargent de l'électricité négative de l'air, et la rapportent à la surface

de la terre lorsqu'elles se précipitent sous forme de pluie.

Les météorologistes se sont demandé quelle pouvait être l'origine de cette électricité négative, et ils n'ont pu faire de réponse satisfaisante. Tralles, Volta et plusieurs autres physiciens ont émis des hypothèses qui n'avaient d'autre base que des conjectures, aussi Kæmtz déclare-t-il que l'augmentation de l'électricité, pendant la formation des météores aqueux, demande à être soumise à de nouvelles expériences.

De la Grêle. — « Dès l'origine de la météorologie on a donné une foule d'explications diverses de ce phénomène, et encore aujourd'hui les physiciens sont loin d'être d'accord entre eux. Comment comprendre que pendant la belle saison et par les jours les plus chauds il tombe souvent des masses considérables de glace? Pourquoi certaines contrées sont-elles ravagées par la grêle presque tous les ans, tandis que des localités adjacentes sont presque toujours épargnées? La grêle se forme-t-elle à une grande hauteur dans l'atmosphère ou à une faible distance de la surface terrestre? telles sont les questions souvent soulevées et qui jamais n'ont été résolues (1). »

Voilà les difficultés indiquées par un observateur du premier mérite. Les questions sont nettement posées et nons allons essayer d'y répondre; mais avant d'exposer notre pensée, nous avons besoin de faire encore une citation :

(1) Kæmtz, *ouv. cité,* pag. 375.

Lorsque MM. Barral et Bixio firent, le 27 juillet 1850, leur ascension aéronautique, ils s'élevèrent à la hauteur de 7,0004 mètres; là ils observèrent un abaissement presque subit de température, et ils virent le thermomètre centigrade descendre à 39 degrés au-dessous de zéro. « Et qu'on ne croie pas, dit Arago qui rendait compte de ce fait devant l'Académie des Sciences, qu'il y a eu erreur, car je prouverai bientôt que le résultat que je viens d'énoncer est exact. »

Admettons maintenant que, par suite d'un violent mouvement ascensionnel, les vapeurs soient tout-à-coup soumises à ce prodigieux refroidissement, qu'arrivera-t-il ? Les vésicules crèveront à l'instant, l'eau se congellera, se prendra en masse plus ou moins considérable, et il y aura formation de grêle. Ces grêlons, en tombant, rencontreront l'eau qui est encore en suspension dans l'atmosphère; ils grossiront de toute la quantité qui se sera accumulée pendant leur chute, et ils arriveront sur le sol en présentant des volumes divers et des formes variables résultant de leur cristallisation prompte et accidentelle. Et si ces grêlons, instantanément cristallisés, renferment encore quelques vésicules d'oxygène électrisé positivement, ils peuvent, comme paraît l'avoir observé Bergman, devenir lumineux en frappant la terre.

Dans nos contrées, le volume ordinaire des grêlons ne dépasse guère celui d'un gros pois ou d'une noisette;

mais les dimensions de la grêle ne s'arrêtent pas toujours à ces limites; Parent a vu dans le Perche, le 15 Mai 1703, des grêlons gros comme le poing. Dans la nuit du 19 au 20 Août 1787, la ville de Côme et ses environs furent dévastés par des grêlons du poids de 270 grammes. Dans les derniers jours d'Octobre 1844, au milieu d'un ouragan épouvantable qui dévasta le midi de la France, on vit des grêlons de 5 kilogrammes. On cite des exemples bien plus extraordinaires; mais pour éviter toute exagération qui pourrait paraître mensongère, nous nous bornerons à rapporter le récit de M. Huc, de la congrégation de St-Lazare, missionnaire apostolique dans la Tartarie, le Thibet et la Chine, qui déclare que la grêle tombe fréquemment dans la Mongolie, et que souvent elle est d'une grosseur surprenante. « Nous y avons vu, dit-il, des grêlons du poids de douze livres; il suffit quelquefois d'un instant pour exterminer des troupeaux entiers. En 1843, pendant un grand orage, on entendit dans les airs comme le bruit d'un vent terrible, et bientôt après il tomba dans un champ, non loin de notre maison, *un morceau de glace plus gros qu'une meule de moulin.* On le cassa avec des haches, et quoiqu'on fût dans les plus fortes chaleurs, il fut trois jours à se fondre entièrement (1). »

(1) *Souvenir d'un voyage dans la Tartarie etc.*

Ces phénomènes sont trop violents, trop brusques pour pouvoir être durables, aussi cessent-ils rapidement, et font-ils que les ravages de la grêle sont toujours très-circonscrits. S'ils se produisent pendant la belle saison et les jours les plus chauds, c'est qu'alors il y a surabondance d'électricité positive, apportée par l'Ozone, dans les hautes régions de l'air, que son contact avec l'électricité négative favorise les orages, la recomposition de l'électricité neutre, détermine les courants ascensionnels des vapeurs d'eau, les jette dans des couches d'air refroidies à 39 et 40 degrés centigrades, et les précipite sur la terre, transformées en grêlons d'un volume quelquefois énorme.

Ces phénomènes ne sont pas possibles pendant l'hiver, ou au moins ils ne peuvent se présenter que très-exceptionnellement, puisqu'à cette époque de l'année, nous le savons, les couches supérieures de l'air contiennent peu de vapeur d'eau et, par cela même, une faible quantité d'électricité positive.

Il nous paraît inutile, en présence de ces faits, de discuter les théories inacceptables de Volta et de M. Peltier.

La neige. — Les auteurs déclarent que la théorie de la formation de la neige est pour ainsi dire ignorée [1].

Nous pensons, au contraire, qu'on peut en donner

[1] Foissac. — *Ouv. cité*, tom. 2, pag. 68.

une explication facile. On remarque, lorsque la neige va tomber, que la température s'adoucit, que le ciel se couvre, prend un aspect d'un gris blanchâtre. C'est qu'alors le vent du sud a succédé au vent du nord, qu'il a apporté dans l'atmosphère refroidie des vapeurs qui se condensent, se cristallisent et conservent l'aspect vésiculaire que nous leur connaissons ; ces flocons légers descendent lentement, car ils renferment de l'air et de l'Ozone, dont la présence se révèle promptement par le dégagement abondant d'électricité positive et par la coloration très-prononcée du papier ozonoscopique au moment de la chute de la neige.

Kepler a parlé avec admiration des figures variées que présentent les flocons de neige ; suivant Scoresby, leurs formes innombrables et curieuses peuvent être ramenées à cinq types essentiels, tous les cristaux se réunissant sous des angles de 30, 60 et 120 degrés.

Lorsque MM. Barral et Bixio se furent élevés à la hauteur de 6,330 mètres, ils y trouvèrent une foule d'aiguilles très-fines produites par la vapeur d'eau congelée ; elles restaient suspendues dans l'air, avec l'électricité dont elles étaient chargées, mais elles se précipitaient avec force sur les voyageurs, attirées qu'elles étaient par l'électricité contraire du ballon : « le carnet ouvert devant nous, disent ces observateurs, les ramasse de telle façon qu'ils semblent tomber sur lui avec une sorte de crépitation. »

La quantité d'oxygène électrisé contenue dans la neige explique la propriété qu'elle possède de contribuer à la fertilité des terres; on sait que les récoltes souffrent lorsqu'elle manque entièrement. Dans les contrées du Nord, loin de geler les arbres et les végétaux, elle les préserve de la rigueur de la température. On lit, dans les *Mémoires de l'Académie des Sciences*, que des voyageurs se sont mis à l'abri du froid en se construisant des cabanes de neige.

De la formation des nuages, de la nature de leur électricité et de leur conservation à l'état de vapeur. — Nous ne nous arrêterons pas à démontrer que c'est à la vaporisation de l'eau qu'on doit rapporter la formation des nuages; le fait est trop apparent pour qu'on en puisse douter. Nous nous bornerons seulement à rappeler que la vapeur d'eau, en s'élevant dans l'atmosphère, emporte l'Ozone dégagé par les plantes ou fourni par les surfaces aqueuses. Les choses se passant ainsi, les nuages devraient être constamment chargés d'électricité positive, mais cela n'est pas, puisque l'expérience démontre qu'il y a des nuages électrisés positivement et d'autres négativement. Comment expliquer cette anomalie apparente?

MM. Becquerel, père et fils, pensent qu'il se produit spontanément dans l'atmosphère des nuages chargés d'électricité négative, que cette formation est due à des actions électriques *par influence*, comme on est porté à le

croire en voyant, dans les temps d'orage, les nuages positifs et négatifs se succéder rapidement. Ils ajoutent :

« Le dégagement de l'électricité par influence peut encore intervenir comme il suit pour donner lieu à des nuages négatifs ; la terre exerçant toujours une influence négative, et l'atmosphère une influence positive sur un nuage, il s'ensuit que ce dernier, quand il est à peu de distance de la terre, doit être plus fortement négatif à sa partie supérieure que dans les régions moins élevées ; une augmentation de température pouvant dissiper la partie inférieure du nuage, la partie supérieure restera électrisée négativement, et cette fraction de nuage, repoussée par la terre, constituera un nuage négatif. Ces nuages sont du reste moins fréquents que les nuages positifs [1]. »

Nous pensons que les choses se passent plus simplement. Remarquons d'abord qu'il existe très-souvent dans l'atmosphère plusieurs couches de nuages et que ces couches peuvent être séparées par des distances considérables. Les observations faites par M. Pouillet, le 30 Octobre 1840, lui ont donné 7,500 mètres pour la hauteur verticale des nuages inférieurs et 12,000 mètres pour celle des nuages supérieurs [2]. Très-fré-

(1) Becquerel père et Ed. Becquerel. — *Traité d'électricité et et de magnétisme*, tom. 1er pag. 404. — Paris 1855.

(2) Pouillet. — **Note sur la hauteur, la vitesse et la direction des nuages**. *Compt.-rend. de l'Acad.* — 1840. 2e sem. tom. xi n° 19.

quemment, d'ailleurs, nous constatons que les nuages inférieurs courent dans une direction, tandis que les nuages supérieurs sont immobiles ou marchent dans une direction contraire.

On sait en outre que les nuages épais interceptent plus ou moins la lumière solaire et que les rayons réfractés donnent la chaleur.

La réunion de ces faits semble nous en indiquer la théorie, et voici comment nous la concevons.

Les vapeurs d'eau qui s'élèvent de la terre emportent l'Ozone et constituent les nuages positifs; ceux-ci, par leur accumulation, interceptent en partie le passage des rayons solaires; de là échauffement de la couche atmosphérique en contact avec eux et dilatation nouvelle de l'eau primitivement vaporisée; ces vapeurs secondaires gagnent une région plus élevée de l'atmosphère et s'y condensent lorsque la température les refroidit.

Ces vapeurs étant fournies par une eau presque pure ne peuvent plus emporter d'Ozone, puisque nous savons que ce corps ne se produit qu'au moment où s'opère la désagrégation chimique des sels contenus dans l'eau répandue à la surface de la terre. Au moment où ces vapeurs se forment et s'élèvent, elles rencontrent l'électricité négative existant dans les hautes régions de l'atmosphère, ainsi que l'ont démontré les expériences de Biot et de Gay-Lussac; elles enveloppent l'air qui en est chargé, et constituent ainsi des nuages électrisés

négativement. Admettons maintenant que ces nuages supérieurs, surabondamment chargés de vapeurs d'eau, se rapprochent de ceux des couches inférieures; ils s'attireront, produiront ces fusées dont nous avons parlé, puis des étincelles électriques, le tonnerre, la pluie, tantôt positive, d'autrefois négative, selon la nature du nuage d'où elle s'échappera. Ajoutons encore la perturbation produite par la combinaison des électricités contraires, par la condensation des vapeurs d'eau, par la chute de la pluie ou de la grêle, qui forment des vides, et nous expliquerons la formation brusque des vents violents, des ouragans, des trombes.

Les effets électriques observés auprès des cascades ont paru suffisants à quelques auteurs pour expliquer la formation des nuages négatifs. Il est bien vrai que si l'on présente un électromètre atmosphérique, armé de sa tige métallique, à la pluie très-fine qui résulte de la division de l'eau lancée dans l'air ou rebondissant après avoir frappé le rocher, on obtient aussitôt des signes d'électricité négative. Mais il n'en pouvait être autrement, puisqu'ici ce n'est pas de la vapeur qui se produit sous une influence chimique, mais bien de l'eau divisée par une action physique, dont les molécules emportent avec elles l'électricité négative qui leur a été transmise par la terre.

Ajoutons qu'en dehors de ces convulsions de l'atmosphère il s'opère sans cesse dans les nuages des mou-

vements qui ne peuvent s'expliquer que par l'action des électricités contraires. « Lorsqu'un nuage semble presque immobile, dit M. Pouillet, on voit quelques points de ses bords qui se déchirent, d'autres qui semblent s'arrondir, d'autres enfin qui se maintiennent avec assez de permanence : il est évident qu'il y a des forces extérieures ou des forces intérieures qui tendent incessamment à lui faire prendre une forme nouvelle, tantôt plus dispersée, tantôt plus condensée ; mais il est bien rare que les mouvements qui en résultent se fassent également sentir partout (1). »

Est-il besoin d'ajouter que ces phenomènes partiels s'expliquent par la combinaison circonscrite, atomique en quelque sorte, des électricités contraires ?

De la conservation des nuages à l'état de vapeur. — N'est-ce pas un fait remarquable que la conservation de l'eau à l'état de vapeur, dans les nuages et les brouillards, lorsque la température est de 10, de 15 et même de 20 degrés au-dessous de zéro, tandis que l'eau des rivières gèle à 4 ou 5 degrés ? C'est que l'électricité joue encore, dans le premier cas, un rôle puissant, c'est qu'elle imprime, en quelque sorte, une activité vitale à chaque molécule d'eau, et la protège contre les effets habituels de la soustraction du calorique.

(1) Pouillet. — **Note sur la hauteur, etc., des nuages,** *id.*

Du Baromètre. — Cet ingénieux instrument, inventé par Torricelli, exerce depuis plus de deux siècles, la patience des observateurs; ils l'interrogent chaque jour, et souvent plusieurs fois dans ce court espace de temps, afin de constater, par les oscillations du mercure, les modifications atmosphériques et prévoir les changements de temps. On réussit assez souvent, sous les climats tempérés, bien que les erreurs soient nombreuses; mais cet instrument perd toute valeur, sous ce rapport, lorsqu'on est dans les régions polaires ou tropicales.

Les physiciens reconnaissent généralement que le baromètre, employé dans ce but, est un instrument infidèle, qu'il est soumis, en dehors des perturbations accidentelles, à des oscillations diurnes, d'une amplitude variable selon les climats; mais ils sont d'accord sur ce point important, que le baromètre représente exactement le poids de la colonne d'air atmosphérique pesant, de toute sa hauteur, sur le mercure. En effet, après avoir constaté que la hauteur moyenne du baromètre au niveau de la mer est de $761^{mm},35$, on a reconnu que cette hauteur diminue à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère. Sur les petites montagnes, on a trouvé que le mercure baisse de 1 millimètre par $10^{m},5$ de hauteur; mais à de fortes élévations, un abaissement de 1 millimètre correspond à une plus grande hauteur que $10^{m},5$, ce qui doit être attribué à la diminution progressive de la densité de l'air.

Lorsque Gay-Lussac exécuta son ascension aéronautique le 16 Septembre 1804, le baromètre marquait à terre, 765^{mm},25 : il ne s'élevait plus qu'à 328^{mm},8, lorsque l'observateur fut parvenu à la hauteur de 7016^{m}; c'est-à-dire que la colonne de mercure avait baissé de plus de moitié de sa hauteur. MM. Barral et Bixio observèrent un abaissement plus grand encore ; la colonne de mercure, pendant leur ascension, descendit à 315^{mm},02, bien que la hauteur à laquelle ils parvinrent ne fût pas tout-à-fait aussi grande que celle qu'avait atteinte Gay-Lussac. Quoi qu'il en soit de cette petite différence, le fait est démontré, et personne ne peut douter que la colonne de mercure n'indique le poids de l'air atmosphérique.

Mais là n'est pas la difficulté; elle commence lorsqu'on veut expliquer les variations déterminées par les changements de temps et les oscillations périodiques et diurnes remarquées dans tous les climats, mais surtout sous l'équateur. M. Biot, après avoir discuté quelques hypothèses qu'il considère comme mal fondées, déclare que « le parti le plus sage est de considérer ces faits comme des résultats d'observation dont on ne peut jusqu'à présent donner une explication satisfaisante. La hauteur du baromètre éprouve des élévations et des abaissements qui paraissent tenir aux modifications de l'atmosphère, *mais dont la cause est encore inconnue* (1). »

(1) Biot, — *Traité de Physiq.* etc. tom. 1er, pag. 95.

Nous trouvons dans l'ouvrage du docteur Foissac un article qui résume parfaitement la question et qui précise très bien toutes les difficultés ; nous allons le reproduire avant d'exposer nos recherches et nos explications.

« La colonne barométrique, dit M. Foissac, est sujette à des oscillations continuelles, les unes périodiques ou diurnes, les autres accidentelles ou variables. Les premières sont plus marquées sous l'équateur, les secondes sont plus caractérisées dans les zones moyennes et les hautes latitudes. En 1666, Beale publia un mémoire où il avance que le baromètre est plus haut le matin et le soir qu'à l'heure de midi. Mais Godin, envoyé au Pérou avec Bouguer et La Condamine, pour déterminer la figure et la mesure de la terre, fut le premier qui, à Surinam, observa des oscillations diurnes dans le baromètre. La Condamine les constata au pied des Cordilières, Moseley, aux Antilles, le P. Boudier, à Chandernagor (1740), Balfour, à Calcutta. En 1761, Chanvalon reconnut que le baromètre était entièrement inutile à la Martinique pour indiquer les variations du temps ; mais il s'aperçut bientôt qu'il montait insensiblement pendant la matinée, qu'ensuite, après un certain temps d'arrêt, il commençait à baisser jusqu'au soleil couchant ; puis, qu'il restait de nouveau quelque temps stationnaire, pour remonter jusqu'à dix heures du soir. La régularité de ces mouvements n'était jamais troublée par les pluies, les vents et les orages. Adanson à qui

Chanvalon fit part de ces curieuses particularités, constata les mêmes mouvements au Sénégal; plus tard, M. de Humboldt les retrouva sous l'équateur : « Ces oscillations, dit ce savant, s'exécutent avec une constance et une précision telles, qu'elles indiquent l'heure presque comme une horloge. » Coutelle ignorait ces faits, lorsque, chargé par l'Institut d'Egypte, des observations météorologiques, il lui suffit d'un séjour de quelques semaines au Caire pour reconnaître la périodicité des oscillations barométriques par 30° 3′ de latitude boréale. Ajoutons toutefois que Horsburg prétend qu'à Bombay cette périodicité est interrompue par les pluies, et se rétablit aussitôt que le ciel reprend sa sérénité. Sous la même latitude, dit-il encore, la périodicité est très-sensible en pleine mer et disparaît sur les côtes. »

« Les observations de Ramond et du P. Cotte en France, de van Swinden en Hollande, sur les oscillations périodiques du baromètre, confirmèrent les résultats obtenus dans les régions tropicales; mais, dit Ramond, les moments de la variation diffèrent suivant les saisons: pour l'hiver, les *heures tropiques* sont à neuf heures du matin, trois heures après midi, et neuf heures du soir. En été, l'abaissement paraît commencer dès huit heures du matin, se prolonger jusqu'à quatre heures, et ne recommencer qu'à dix heures du soir. »

« Les oscillations périodiques du baromètre dimi-

nuent à mesure qu'on avance vers les pôles, et, d'après le capitaine Parry, elles sont nulles déjà à 74 degrés de latitude. A Saint-Pétersbourg, elles présentent à peine le vingtième de l'étendue qu'ont ces oscillations dans les basses latitudes. Chose remarquable! sous l'équateur même, elles diminuent à mesure qu'on s'élève; elles sont insensibles à la hauteur de 3,000 mètres. Une série d'observations faites, par M. Daniel, à Genève et sur le grand Saint-Bernard, par M. Horner, à Zurich, par M. Eschmann sur le Rigi, et par MM. Kæmtz, Bravais, Martins, Wachsmuth, Peltier sur le Faulhorn, montrent que les lois de la variation diurne du baromètre changent suivant les hauteurs. »

« Ainsi qu'on l'aura remarqué, les heures des oscillations ne sont pas les mêmes sous les zones diverses: « C'est un fait établi par vos travaux et vérifié par les nôtres, écrit M. Boussingault à M. de Humboldt, qu'entre les tropiques le mercure atteint son maximum entre huit heures et dix heures du matin, qu'il descend ensuite jusque vers quatre heures; et qu'il est au minimum entre trois et cinq heures de l'après-midi; qu'il remonte alors jusqu'à onze heures du soir, sans arriver cependant à la même hauteur à laquelle il était à neuf heures du matin; enfin qu'il redescend jusqu'à quatre heures du matin, sans parvenir aussi bas qu'il l'était à quatre heures après midi. » Du reste, à Santa-Fé-de-Bogota, sur plus de douze cents observations, la plus

grande hauteur barométrique observée était de 563^{mm}88, et la plus petite de 557^{mm}68. »

« Il résulte d'un grand nombre de faits recueillis à Paris par Bouvard, que le baromètre y atteint sa plus grande élévation à neuf heures du matin, et qu'il redescend ensuite jusqu'à trois heures; puis il remonte et arrive à son maximum à neuf heures du soir, pour redescendre encore. Chaque jour présente le même mouvement périodique. La deuxième oscillation a moitié moins d'étendue que la première; la période de trois à neuf heures n'éprouve que des variations insignifiantes. Mais il n'en est pas ainsi de celle de neuf heures du matin à trois heures; elle atteint son maximum dans les mois de février, mars, avril et son minimum en novembre, décembre et janvier; les six autres mois présentent un état moyen. Du reste, l'étendue des oscillations est moitié moindre en France qu'entre les tropiques.

A quoi peut-on attribuer les oscillations diurnes du baromètre? Leur constance dans presque toutes les contrées du globe, autant que leur périodicité invariable, prouve l'existence d'une loi physique d'où elles dérivent [1]. »

(1) Foissac. — *De la Météorologie*, etc. tom. 1er pag. 458. — Paris 1854.

Abordons maintenant toutes ces difficultés; nous espérons les résoudre en faisant intervenir l'action de l'eau, de la chaleur et de l'électricité. Cette assertion doit être appuyée, sans doute, par des chiffres et des observations rigoureuses; mais avant de les présenter, nous croyons devoir exposer simplement notre opinion, afin de la rendre plus nette et plus concise.

Admettons que le baromètre soit à 76 centimètres, le thermomètre à 20 degrés, l'air calme, le ciel pur: que se passe-t-il dans ces conditions? L'eau échauffée par le soleil, passe à l'état de vapeur, enlève l'Ozone dans l'atmosphère, et le transporte à une hauteur qui a pour limite le refroidissement des couches supérieures de l'air. Ces vapeurs d'eau, dont la quantité est considérable, s'ajoutent au poids de l'air atmosphérique, pressent sur la colonne de mercure et font monter le baromètre: voilà la cause d'un premier *maximum*. Mais la chaleur solaire continuant à croître jusqu'à ce que le soleil ait dépassé le méridien, dessèche le sol qui réfracte la chaleur, laquelle, en Afrique, s'élève souvent à 60 et 70 degrés; celle-ci, projetée dans l'atmosphère, dilate l'air et le gaz aqueux, et, comme ils ne peuvent s'élever à une hauteur indéfinie, retenus qu'ils sont par l'abaissement de la température des couches supérieures de l'atmosphère, ils se portent vers les régions voisines que le soleil vient de quitter et qu'il échauffe moins; or, Gay-Lussac et Dalton ayant démontré :

1° Que la dilatation de l'air est uniforme depuis 0 jusqu'à 100°;

2° Qu'elle est pour chaque degré la 267e partie, ou les 0,00375 du volume à 0;

3° Que tous les gaz se dilatent uniformément comme l'air, et que, pour tous, le coefficient de dilatation reste le même; il est toujours pour chacun d'eux les 0,00375 du volume à 0.

D'un autre côté il est facile de trouver le volume que doit occuper 1 gramme de vapeur à la température de 100°, et sous la pression *maximum* de 760^{mm}, car un centimètre cube d'air à 0 pesant $0^{gr},0012990505$ sous la pression de 760^{mm}, et ce centimètre cube devenant 1,375 lorsqu'il passe à 100° sous la même pression, l'on voit qu'alors

$$1^{cc},375 \text{ pèse } 0^{gr},0012990505;$$

et par conséquent,

$$1 \text{ gr. occupe un volume } \frac{1,375}{0^{g},0012990505} = 1058^{cc},47$$

Ainsi un gramme de vapeur à 100° sous 760^{mm} doit occuper les 8/5 de $1058^{cc},47$ ou $1693^{cc},55$; donc 1 centimètre cube d'eau qui pèse 1 gr., prend, en se vaporisant à 100°, un volume de $1693^{cc},55$, c'est-à-dire un volume qui est environ 1700 fois plus grand, pourvu toutefois que sa force élastique soit *maximum* (1).

(1) POUILLET. — *Éléments de physique*, etc. t. 1er, pag. 338-39.

Mais la température atmosphérique, sous l'influence directe des rayons solaires n'étant en Afrique, qu'à 70 degrés, le gaz aqueux n'occupera plus qu'un espace d'environ 1180 fois plus grand que l'eau sous forme liquide; et comme cette vapeur pèse moins que le volume d'air qu'elle remplace, elle doit par conséquent produire une moindre pression sur le baromètre; de là un abaissement progressif jusque vers trois ou cinq heures de l'après-midi, moment où se manifeste le *minimum*.

Mais alors le soleil descend vers l'horizon, il vaporise l'eau des régions voisines et en échauffe l'atmosphère; celles qu'il vient de quitter se refroidissent, les vapeurs se condensent, l'air reprend sa densité normale, l'atmosphère, plus pesante, presse sur le baromètre et fait monter la colonne de mercure.

Ce second *maximum* sera inévitablement suivi d'un nouveau *minimum* déterminé, pendant la nuit, par la condensation des vapeurs d'eau qui se précipitent sur la terre avec une abondance proportionnelle à la vaporisation occasionnée par la chaleur du jour.

Ainsi voilà deux *maxima* et deux *minima*: le premier *maximum* est produit par l'accumulation de la vapeur d'eau dans l'atmosphère, et le premier *minimum* par la dilatation de l'air et du gaz aqueux opérant un refoulement sur les régions voisines, ce qui diminue le poids de la colonne atmosphérique.

Le second *maximum* est déterminé par le refroidisse-

ment de l'atmosphère et le reflux de l'air des nouvelles régions échauffées; enfin le second *minimum* est l'effet naturel de la précipitation de l'eau, ce qui, nécessairement, diminue le poids de l'atmosphère.

Quant aux oscillations du baromètre qui diminuent à mesure qu'on s'élève et qui deviennent nulles à 3000 mètres, il est facile d'en donner la raison, c'est qu'à cette hauteur les vapeurs d'eau qui s'élèvent de la terre, arrêtées par le refroidissement, sont en trop petite quantité pour pouvoir impressionner notablement la colonne de mercure.

Les causes signalées existant partout, les effets doivent se produire en tous lieux ; mais la puissance avec laquelle elles agissent n'étant pas partout la même, il y a des différences, dans les résultats, constatées depuis l'équateur jusqu'au pôle. Outre ces causes générales il y a encore des circonstances locales, tenant à l'état du sol, plus ou moins couvert de végétation et d'eau, qui modifient les phénomènes indiqués, et produisent des inégalités entre des régions situées sous une même latitude.

Présentons encore quelques chiffres pour appuyer nos assertions et occupons-nous particulièrement de ce qui se passe dans notre climat.

Nous avons rapporté (*pag.* 140), que M. Boussingault a calculé que le nombre de choux plantés sur un hectare de terre fournit en douze heures 20,000 kilo-

grammes de vapeur; or un hectare contient 10,000 mètres carrés, ce sont donc deux kilogrammes de vapeur pour un mètre carré.

D'un autre côté nous savons qu'un mètre carré de la surface de la terre porte, à 76 centimètres de hauteur barométrique, un poids de 9972 kilogrammes qui, à chaque millimètre dont le baromètre monte ou baisse, change d'environ deux kilogrammes; or, les deux kilogrammes de vapeur d'eau, fournis par un mètre de terre cultivée, doivent déterminer une pression correspondante à un millimètre; mais, comme il est certain que la quantité fournie ne se répartit pas, en tous points, d'une manière parfaitement exacte, les chiffres n'atteindront pas cette rigueur absolue, cependant nous en approcherons de si près que nous pourrons l'accepter comme une démonstration définitive.

En effet, la moyenne des variations diurnes du baromètre donnée par M. Bouvard et déduite de onze années d'observations, depuis 1816 jusqu'à 1826, donne, pour la période de neuf heures du matin à trois heures du soir, un peu plus de *trois quarts de millimètre* (1).

De Humboldt a donné un tableau des variations diurnes du baromètre suivant les latitudes, et on y trouve les chiffres suivants: dans l'Amérique méridionale les

(1) Pouillet. — *Éléments de physique et de météorologie*, tom. iv, pag. 709.

variations diurnes du baromètre sont de $2^{mm}55$; au Brésil, $2^{mm}34$; à Toulouse, $1^{mm}24$; à Paris, $0^{mm}76$; à Kœnigsberg, $0^{mm}20$; et à 74 degrés de latitude nord, $0^{mm}00$.

Voyons maintenant si ces données concordent avec la quantité de pluie tombée, chaque année, sur les différents points du globe; cela doit être, si nous sommes dans le vrai, car l'eau qui se vaporise est la source des pluies.

Il tombe à Paris, année moyenne, 56 centimètres d'eau; or la quantité d'eau vaporisée en un jour d'été, provenant d'un champ cultivé, équivaut à 20 mètres cubes par hectare; un hectare contient 10,000 mètres carrés, donc la quantité d'eau fournie par cette source serait, en la supposant également répandue à la surface d'un hectare, pour un jour, de 2 millimètres de hauteur; ce qui, pour l'année donnerait 72 centimètres. Mais comme la vaporisation de l'eau ne marche pas avec une régularité constante, que les jours froids, pluvieux et la saison d'hiver surtout, en diminuent la quantité, elle se trouve réduite pour l'année à 56 centimètres. Ce chiffre serait encore plus faible si les vents du sud et du sud-ouest ne nous apportaient le contingent nécessaire pour combler le déficit. A St-Pétersbourg la quantité d'eau tombée n'est plus que de 46 centimètres, tandis qu'à St-Domingue elle s'élève à 273 centimètres ; à Gênes, à 140 centimètres; à Lyon, à 89 centimètres,

quantités qui dépendent non-seulement de la température, mais qui varient encore d'après certaines influences locales, tel que le voisinage de la mer, des grands fleuves, des forêts, des terres cultivées ou arides, et aussi selon la direction des vents.

Tous ces faits concordant parfaitement, il nous semble donc bien démontré que les variations diurnes et périodiques du baromètre tiennent à la vaporisation de l'eau et à la dilatation de l'air produites par la chaleur solaire.

Il nous reste maintenant à expliquer les variations accidentelles ou variables du baromètre.

Les météores aqueux vont encore jouer le premier rôle, mais en se compliquant nécessairement de quelques phénomènes électriques.

Admettons qu'un orage se prépare; le vent du sud souffle, il apporte des masses de vapeurs chargées d'Ozone; l'électricité positive de ce corps se combine avec l'électricité négative des hautes régions atmosphériques; les vapeurs se condensent, se forment en gouttelettes, l'eau occupe un espace 1180 fois plus petit que sous forme gazeuse, la *tension* diminue rapidement et le baromètre baisse tout-à-coup.

Si ces phénomènes, au lieu de s'opérer rapidement, se produisent progressivement et avec lenteur, le baromètre baissera graduellement, sans secousse, et il annoncera, plusieurs jours à l'avance, que l'eau se

condense et qu'elle est sur le point de tomber sous forme de pluie.

Pour bien comprendre le phénomène, il suffit d'observer la marche des météores aqueux : lorsque le vent du sud ou du sud-ouest vient à souffler, la pluie se produit d'abord dans les régions voisines de la mer ; l'eau qui tombe de l'atmosphère fait le vide ; les couches supérieures de l'air s'y précipitent en emportant les vapeurs d'eau qu'elles contiennent ; la pression atmosphérique diminue ; le baromètre baisse et l'on voit les nuages courir en sens opposé : les supérieurs vers le sud, les inférieurs vers le nord.

Déjà M. Quetelet [1] avait entrevu les relations existant entre l'électricité et la hauteur du baromètre, et avait attribué à ce fluide une action directe, tandis que, dans la réalité, il n'y a que corrélation et effet indirect.

L'exposé de ces principes généraux de météorologie suffit pour donner, actuellement, l'explication des faits particuliers que nous n'avons pas indiqués. L'observation et l'étude modifieront peut-être quelques-uns de nos aperçus, mais nous espérons qu'elles ne porteront point atteinte à la loi générale.

Restitution à l'air atmosphérique de l'oxygène détruit. — Le rôle de l'Ozone n'est pas encore terminé.

(1) Quetelet. — **De l'électricité sur les hauteurs barométriques.** —(*Annuaire météorolog. de la France pour* 1851).

Après les fonctions nombreuses et presque infinies que nous lui avons vu remplir, il est encore chargé d'un grand acte, c'est de rendre à l'air atmosphérique l'oxygène qui disparaît sans cesse par les combinaisons chimiques opérées à la surface de la terre. Lorsque l'oxygène est désélectrisé par l'une des causes que nous avons énumérées, lorsqu'il est rendu à l'état de liberté, il reste dans l'air atmosphérique pour remplacer celui qui a disparu. Il fallait bien qu'il en fût ainsi pour compenser les pertes effrayantes éprouvées chaque jour, sans quoi la composition de l'air eût changé et la vie n'eût plus été possible.

Prevost a calculé la quantité d'oxygène consommée par les êtres organisés de la terre pendant un siècle et il a trouvé qu'elle ne s'élève qu'à $\frac{1}{7200}$ de toute la masse du poids de celui qui est contenu dans l'atmosphère. Mais ce calcul est évidemment erroné, car la consommation de l'oxygène par les êtres organisés, n'est pas, aujourd'hui surtout, la cause la plus active de la destruction de ce gaz. On peut en juger par quelques indications données par M. Liebig. « Il faut songer, dit ce chimiste, que dans vingt-quatre heures, chaque homme corrompt, par l'effet de la respiration, 453 pieds cubes d'air atmosphérique, que 10 quintaux de carbone consument en brûlant 58,112 pieds cubes d'oxygène; qu'une seule forge enlève à l'air des centaines de millions de pieds cubes d'oxygène; que, dans

une petite ville enfin, comme Giessen, par exemple, on lui prend, seulement pour la combustion du bois de chauffage, déjà plus de mille millions de pieds cubes. Il serait vraiment inconcevable, s'il n'existait pas de cause pour remplacer l'oxygène ainsi consumé, que, après des temps que l'on ose à peine calculer, l'oxygène n'eût pas diminué dans l'atmosphère (1) »

M. Liebig croit trouver la solution de cette importante question dans la décomposition de l'acide carbonique par les plantes, ce qui rendrait l'oxygène à l'atmosphère. Mais nous avons prouvé que les plantes ne décomposent pas l'acide carbonique pour en expulser l'oxygène, conséquemment l'opinion de M. Liebig n'est pas admissible.

Une hypothèse analogue avait déjà été combattue par Berzélius qui s'exprime en ces termes : « On a cru pendant longtemps, dit-il, que les plantes exposées aux rayons solaires décomposaient l'eau dans leurs humeurs, et dégageaient l'oxygène sous forme de gaz. Mais cette hypothèse est fausse, et la composition de l'air reste la même, été comme hiver. (2) »

Après avoir cherché à élucider la question sans y parvenir, il conclut ainsi : « Au reste, nous ignorons comment se répare le gaz oxygène consommé sans cesse

(1) Liebig. — *Traité de chim. organiq.* — Introduct., p. LXXII.

(2) Berzélius. — *Traité de Chimie*, tom. 1er, pag. 392.

dans toutes les opérations chimiques, organiques et inorganiques. Nous ne connaissons pas un seul acte de désoxygénation qui soit assez grand et assez général pour remettre en liberté tout l'oxygène qui se combine à chaque instant, et pour entretenir les proportions qui ne varient jamais entre les deux gaz. La solution de ce problème est de la plus haute importance pour la théorie chimique ; peut-être est-ce un secret qu'avec le temps nous parviendrons à dérober à la nature, qui, dans un si grand nombre de cas, aime à s'entourer de mystère [1]. »

Si nous ne nous trompons, ce secret est dévoilé par la découverte des sources de l'Ozone, et pour apprécier la quantité d'oxygène rendue à l'atmosphère, il suffit de se rappeler qu'une surface aqueuse d'un mètre carré laisse dégager, en un jour, 54 centimètres cubes d'oxygène; puis de considérer la terre comme un vaste laboratoire de 500 millions de kilomètres carrés : or, chaque kilomètre équivalant à 1 million de mètres carrés, donnera 54 millions de centimètres cubes d'oxygène, ou 54 mètres cubes; enfin, 1 million de kilomètres produira 54 millions de mètres cubes, et cinq cents fois autant pour toute la surface de la terre.

[1] Berzélius. — *Trait. de chim.* — Tom. 1er, pag. 591.

RECHERCHES MÉDICALES.

Déjà nos recherches physiologiques nous ont fait entrevoir l'action puissante de l'Ozone sur l'organisme végétal et animal ; il nous reste, actuellement, à examiner l'influence de ce corps sur la production des maladies, et les ressources qu'il peut offrir pour combattre ou guérir celles qui résistent aux moyens habituels de la médecine.

Y a-t-il des maladies produites par diminution ou absence d'Ozone ?

Y en a-t-il d'autres occasionnées par excès de ce corps dans l'atmosphère ?

Occupons-nous de la première de ces questions :

Lorsqu'une épidémie apparaît, la première pensée de l'homme est d'en chercher la cause dans la viciation de l'atmosphère : il est disposé à admettre que les éléments constitutifs de l'air ne sont plus dans leurs rapports normaux, ou que leur pureté est troublée par la présence de corps auxquels on donne le nom de miasmes. On a encore supposé que les fluides impondérables, notamment l'électricité et le magnétisme, entravés dans leur manifestation, pouvaient occasionner les épidémies.

A peine le professeur Schœnbein eût-il signalé l'influence neutralisante de l'Ozone sur les miasmes, qu'un

grand nombre de médecins voulurent y trouver aussi un antidote du choléra. On admit, *à priori*, que chaque explosion de cette épidémie terrible correspondait à une diminution ou à l'absence de l'Ozone dans l'air atmosphérique. Cette opinion se répandit surtout en Europe après la publication d'un article, inséré dans le journal de Henle et Pfeufer (1), où M. Schœnbein avance qu'un médecin anglais, le docteur Hunt, a trouvé que l'air était privé d'Ozone pendant une épidémie de choléra.

Au mois de février 1852 la Société de médecine de Kœnigsberg, impressionnée par l'article de M. Schœnbein, décida qu'une commission, prise dans son sein, ferait pendant un an des observations ozonométriques dans la ville et les environs, et qu'elle dresserait des tableaux exacts de toutes les maladies aiguës, afin de pouvoir, par la comparaison de ces deux ordres de faits, arriver à des données positives ou négatives touchant l'influence de l'Ozone sur le développement et la marche des maladies régnantes. Ces observations commencèrent le 1er Juin 1852 et finirent le 31 Mai 1853; elles firent noter 6251 maladies aiguës qui sont résumées dans le tableau suivant.

(1) Profes. Schoenbein. — *Ueber einige mittelbare physiologische Wirkungen der atmosphaerischen Electricitæt.*

TABLEAU indiquant les manifestations de l'Ozo

	Juin	Juillet	Août	Septem.
Moyenne de l'Ozone.....	5·5	4·8	5·2	7·1
Maximum..............	10·1	8·0	10·5	13·1
Minimum..............	1·6	2·0	2·3	2·1
Total des maladies......	408	358	591	993
De poitrine et de gorge...	142	98	59	103
Rougeole..............	1	6	24	70
Typhus et fièvre gastrique.	54	75	178	138
Fièvre intermittente......	108	58	151	164
Diarrhées..............	42	64	105	221
Choléra................	.	.	2	206
Maladies diverses.......	61	57	72	91
Sur 100 maladies on trouve				
Maladies de poitrine et de gorge................	34·8	27·3	9·9	10·3
Rougeole..............	0·2	1·6	4·0	7·0
Typhus et fièvre gastrique.	13·2	20.9	30·1	13·9
Fièvres intermittentes....	26·4	16·2	25·5	16·5
Diarrhées..............	10·2	17·8	17·7	22·2
Choléra................	.	.	0·3	20·7
Maladies diverses........	14·8	15·7	12·0	9·1

ātmosphérique et des maladies régnantes.

Octobre	Novemb	Décemb.	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai
8·2	7.5	9·2	8·8	10·9	11·2	10·8	8·1
14·1	14·5	15·6	12·9	14·9	18·3	14·5	11·9
2·3	0·1	2·0	3·1	7·6	7·2	6·3	3·8
752	797	603	465	451	310	340	183
145	223	172	176	167	78	82	45
138	270	101	19	2	1	2	2
70	58	66	46	41	43	30	16
75	58	44	41	70	95	124	81
111	72	57	36	30	16	16	8
119	19	.	.	.	.	.	.
94	97	163	147	141	77	86	31
19·2	27.9	28·5	37·8	37·0	25·1	24·1	24·5
18·3	33·8	16·7	4·0	0·4	0·3	0·5	1·0
9·3	7·2	10·9	9·8	9·0	13·8	8·8	8·7
9·9	7·2	7·2	8·8	15·5	30·6	36·4	44·2
14·7	9·0	9·4	7·7	6·6	5·1	4·7	4·3
15·8	2·3	.	.	.	.	.	.
12·3	12·3	26·8	31·7	30·5	24·5	25·3	16·7

Ces chiffres démontrent que les maladies les plus répandues furent la rougeole qui, dans le seul mois de novembre, fournit 270 cas, et le choléra qui en donna 206 dans le mois de septembre.

Après avoir passé en revue toutes les maladies observées pendant douze mois, les médecins de Kœnigsberg arrivent à conclure qu'il n'y a aucune espèce de rapport entre une maladie quelconque et la quantité d'Ozone contenue dans l'atmosphère (1).

L'année suivante, en 1854, les médecins de Vienne, en Autriche, s'occupèrent également de cette question : ils publièrent leurs recherches dans le Journal hebdomadaire (*Wochenblatt der Zeitschrift von Ærtz zu Wien.*) et ajoutèrent à chaque numéro une échelle ozonométrique pour chaque huitaine; en rapprochant leurs recherches météorologiques des observations faites sur la marche du choléra par les professeurs de la Faculté de médecine de cette capitale, on trouve que les cas de choléra diminuent pendant les premiers jours de janvier et qu'ils cessent totalement le 12 de ce même mois ; mais alors la proportion d'Ozone, au lieu de se relever, était très-faible.

Des résultats tout opposés étaient obtenus par plusieurs autres observateurs. M. Th. Bœckel, dont nous avons plusieurs fois cité les consciencieuses recherches,

(1) Schiefferdecker. — *Ouvr. cité.* pag. 26,

a constaté, pendant les épidémies de choléra qui éclatèrent à Strasbourg, dans les années 1854 et 1855 qu'il y a eu une relation intime entre le développement de l'épidémie et la diminution ou la disparition de l'Ozone.

Voici plusieurs extraits du *Bulletin météorologique* et de la *Constitution médicale* publiés par ce savant médecin, dans la *Gazette médicale* de Strasbourg.

« Le mois de Juillet (1854) inaugure fatalement une nouvelle phase dans notre compte-rendu des maladies; tout le monde parle de choléra.

« Le baromètre n'a rien offert de particulier, si ce n'est peu de variabilité.

« Il s'est généralement produit peu d'Ozone, la moyenne a été la moyenne de ce qu'elle est ordinairement.

« A partir du 17, il y a eu presque constamment absence d'Ozone, c'est précisément à cette époque qu'a éclaté le choléra avec une certaine violence parmi nous.

« Le défaut d'oxygène électrisé est-il pour quelque chose dans l'apparition du choléra? Je n'ose l'affirmer. La coïncidence est curieuse et digne de remarque. L'avenir prononcera. A ma campagne, à trois kilomètres de la ville, l'Ozone se produit très-faiblement aussi, quoique le contraire ait lieu ordinairement et comparativement à la ville. »

Août 1854. — « Cette absence d'Ozone ou d'électri-

sation de l'oxygène atmosphérique offre le caractère le plus saillant de la constitution du mois d'Août. Nous avons vu, au mois passé, qu'à partir du 17, l'ozonoscope a commencé à pâlir, et qu'en conséquence la moyenne ozonométrique n'a été que de 2 1/2. Au mois d'Août, cette moyenne est de 1 1/2 pour la nuit et de 0 3/4 seulement pour le jour, résultat qui ne s'est pas encore offert depuis que j'observe cet agent. Si nous déduisons les quantités d'Ozone produites par les deux orages du 15 et du 16 Août et quelques quantités minimes dégagées par les précipitations des brouillards, l'ozonomètre nous offrirait zéro pour tout le mois. »

« Ce résultat coïncide avec l'apparition du choléra; mais ce qui est plus intéressant encore, c'est qu'aujourd'hui 15 Septembre (1854), et depuis que le choléra diminue sensiblement, l'Ozone reparaît dans l'air. A partir du 3 Septembre, l'ozonoscope n'a plus marqué zéro; le 8 Septembre, il a même bleui jusqu'à marquer le 8 de l'échelle. Depuis quelques jours surgissent, en effet, des affections ozoniques que nous n'avions plus observées depuis six semaines, c'est-à-dire des coryzas, des bronchites, voire même quelques pneumonies. »

Mois de Juin 1855. — « Pour compléter ce qui concerne l'Ozone au point de vue étiologique, qu'il me soit permis d'anticiper sur le mois de Juillet et de dire que pendant les quatre premiers jours de Juillet, l'ozonoscope a marqué trois fois zéro pendant la *nuit,*

et que sur quatre cas de choléra qui sont venus plus directement à ma connaissance, trois ont éclaté entre minuit et six heures du matin. »

« La diminution de l'Ozone et l'apparition du choléra offrent une coïncidence remarquable, quelle que soit l'idée qu'on se forme de la génèse de cette maladie, dont l'importation, cette fois-ci, paraît évidente. »

« S'il était permis de porter un jugement dans cette grave et difficile question, il semblerait, d'après mes observations, que le défaut d'Ozone constitue la cause prédisposante, et que le miasme contagieux se forme dans la maladie et se propage par la migration des individus comme il s'envenime par l'accumulation, l'entassement, la malpropreté. »

« J'émets cette opinion sous toute réserve de ce qu'une plus longue expérience pourra nous dévoiler ultérieurement. »

Mois d'Août 1855. — « Les cas de choléra ont augmenté, l'Ozone a diminué, voilà le fait dominant de ce mois. Dix fois l'Ozone a complètement fait défaut le matin et neuf fois le soir. »

A ma campagne près du Neudorff, l'ozonoscope avait constamment marqué de 1 à 3 degrés de plus qu'en ville, lorsque, le 23 et le 24, il tomba subitement à zéro; or, c'est dans la nuit du 23 au 24 que se sont produits au Neudorf les premiers cas de choléra foudroyant et sans prodrômes. »

A ces remarques si intéressantes, exposées en termes si simples et si francs, nous ajouterons l'opinion favorable du docteur Robert, exprimée à l'occasion de la petite épidémie de choléra qu'il observa au village de Neudorf, près de Strasbourg, (*Gazette médicale*, Novembre 1855) et celle du docteur Conraux publiée dans la feuille d'annonces de Thann et Cernay (28 Janv. 1855).

« Pendant le mois de Décembre et la première quinzaine de Janvier, dit-il, l'ozonoscope a constamment indiqué zéro. Il y a donc eu constamment absence d'Ozone dans l'air. Ainsi que nous avons déjà été dans le cas de le déclarer, c'est précisément à la même époque qu'a eu lieu chez nous la période ascendante de l'épidémie. Cependant, dans la nuit du 14 au 15 Janvier, l'Ozone a reparu et à partir de là, aucun nouveau cas de choléra n'a été constaté jusqu'à la journée du 20. Mais dans la nuit du 18 au 19, l'Ozone a de nouveau disparu, car l'ozonomètre marquait de nouveau zéro; aussi c'est avec cette date que coïncide la recrudescence cholérique. »

M. Simonin père, a aussi signalé la coïncidence de l'apparition du choléra à Nancy, en 1854, avec la diminution de l'Ozone; mais il n'a plus trouvé la même concordance pendant l'épidémie de 1855.

On trouve encore dans les *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences* (16 Avril 1855) une note de M.

Wolf, directeur de l'Observatoire de Berne, ayant pour titre : *Influence qu'exerce l'Ozone sur l'état sanitaire de l'homme.* Dans la lettre qui accompagne cet envoi, on lit le passage suivant :

« Ce n'est qu'après l'impression de ce mémoire que j'ai reçu la liste journalière et officielle des morts du choléra à Aarau, en Suisse, du 12 Août au 14 Octobre 1845. En groupant les jours où il n'y avait eu aucun cas de mort, ceux où il y en avait eu un à deux, et enfin les jours où il y avait eu trois morts et au delà, j'ai trouvé que la moyenne correspondante des réactions de l'Ozone à Berne est :

Pour les jours de la première classe..... 6,48
— seconde classe...... 5,48
— troisième classe..... 4,58

« J'en conclus qu'effectivement le choléra est pour le moins extrêmement favorisé par la diminution de l'Ozone. »

Ces dissidences attestent que la question n'est pas résolue et qu'il y a de nouvelles recherches à faire. Evidemment tous les expérimentateurs s'étaient placés dans de mauvaises conditions, ils opéraient sans direction et sans base certaine. Ignorant les sources de l'Ozone, ils ne comprenaient pas les anomalies présentées par ce corps dans un même temps et dans des lieux très-rapprochés; mais, aujourd'hui, que nous savons comment l'Ozone est produit et quelles sont les

causes qui le font disparaître, nous pouvons énoncer, sans la moindre pensée de critique, que les recherches ont été mal faites, qu'elles n'ont aucune valeur et qu'elles sont à reprendre en entier.

Pour les faire convenablement, il est indispensable de se placer à une hauteur constante, de 60 mètres environ au-dessus du sol, en s'éloignant également des agents de destruction, ou des lieux qui favorisent activement la formation de l'Ozone, tels qu'une forêt ou une grande nappe d'eau.

Sans vouloir préjuger les résultats que l'expérience constatera, nous sommes cependant disposé à croire que, sous l'influence de causes délétères, la composition de l'air atmosphérique éprouve des modifications sensibles.

Nous nous appuyons, pour émettre cette opinion, sur les recherches de M. Regnault (1). Ce savant a imaginé un appareil eudiométrique qui lui permet de faire, en peu de temps, des analyses sur de petits volumes de gaz, avec une précision supérieure à celle qui avait été obtenue jusqu'ici.

On sait que l'air atmosphérique est composé, normalement, de 79 parties d'azote et de 21 parties d'oxygène. M. Regnault a trouvé que la plus forte quantité d'oxygène existant dans l'air de Paris, s'élève à

(1) *Annales de physique et de chimie,* tom. XXXVI, pag. 401. — Année 1852.

20,999; la plus faible à 20,913; la moyenne générale atteint le chiffre de 20,960 environ. Bien que la différence extrême soit 0,086 seulement, elle est presque quadruple de celle qui peut résulter des erreurs de l'analyse. Le professeur Regnault a fait l'analyse d'un grand nombre d'échantillons d'air recueillis dans des pays lointains : parmi ceux-ci nous remarquons la composition de celui qui fut recueilli à bord de la corvette l'*Oise*, sur l'ordre de M. Febvrier-des-Pointes, commandant la station des Indes, par M. Clerin, enseigne de vaisseau; cet air fut pris le 8 Mars 1849 sur les bords du Gange, au moment d'une invasion subite du choléra. Le temps était excessivement brumeux pendant la nuit, et les brouillards ne se dissipaient que quelques instants pendant le jour. Les bords du fleuve, exposés à l'ardeur du soleil pendant le jour, lors du mouvement journalier des marées, étaient couverts de boue, de débris de toute espèce et d'une grande quantité de cadavres en putréfaction. L'analyse de cet air constata qu'il ne contenait que 20,387 d'oxygène; il renfermait en outre 0,133 d'acide carbonique.

Les documents que nous possédons concernant l'influence de la diminution de l'Ozone sur la production des fièvres intermittentes simples ou paludéennes ne sont pas plus satisfaisants que ceux que nous venons de présenter pour le choléra. M. Bœckel, fils (1), qui

(1) E. Boeckel.— *Thèse inaugur.*, pag. 68.— Strasbourg 1856.

s'est occupé de cette question, déclare que la fièvre intermittente, la fièvre typhoïde, le typhus, les exanthèmes fébriles n'ont aucune relation avec l'Ozone.

M. Pouriau (1) croit, au contraire, avoir constaté que, dans le département de l'Ain, l'affaiblissement de l'Ozone atmosphérique coïncide avec l'apparition fréquente des fièvres pernicieuses de ces contrées.

Nous répéterons qu'il est indispensable de recommencer ces recherches, en évitant les causes d'erreurs, afin d'arriver à une conclusion sérieuse et définitive.

Passons maintenant à l'examen de la seconde question.

Y a-t-il des maladies occasionnées par excès d'Ozone dans l'atmosphère ?

Après avoir constaté, lui-même, les effets excitants de l'Ozone sur les membranes muqueuses respiratoires, M. Schœnbein invita les médecins de Bâle à faire des observations pouvant infirmer ou confirmer ses prévisions sur le rôle que jouerait l'Ozone dans la production des maladies catarrhales. Ils répondirent à son appel et déclarèrent qu'ils avaient remarqué une relation évidente entre cette cause et cet effet; d'où il résultait qu'à chaque exacerbation des affections des organes de la respiration correspondait une richesse plus grande de l'Ozone de l'air. M. Schœnbein consigna leurs remarques dans le journal de Henle et Pfeufer (1847).

(1) *Compt.-rend, de l'Acad. des Sciences.* 7 Avril 1856.

L'année suivante le même recueil contenait une relation du docteur Spengler sur une épidémie de grippe qui a régné à Roggendorf, village du Mecklenbourg, pendant les mois de Janvier et Février 1847. Durant tout ce temps le papier ozonoscopique accusait une très-forte proportion d'Ozone dans l'air atmosphérique. Une épidémie semblable a été observée par le docteur Clemens, de Francfort, qui consigna ses remarques dans le même journal (tom. VII). La maladie se propageait activement tant que l'Ozone se trouvait dans l'air à forte dose, et elle diminuait dès que ce corps décroissait.

M. Clemens signale un fait intéressant, constituant une sorte de contre-épreuve. Il est médecin d'une fabrique dans laquelle vingt à trente ouvriers sont constamment occupés à distiller du goudron de houille pour en extraire de la nephtaline. Dans l'enceinte de la fabrique, il n'a jamais pu découvrir trace d'Ozone dans l'air, tandis qu'au dehors il y en avait souvent beaucoup.

Les ouvriers travaillent ordinairement dans des ateliers ayant de 30 à 35° de chaleur, et sont, par conséquent, exposés à des changements de température, surtout en hiver. Malgré ces conditions défavorables, M. Clemens n'a eu à traiter, dans le cours de trois années (1846-1849), en fait d'inflammations des voies respiratoires, que quatre angines catarrhales, et voici dans quelles circonstances : quatre ouvriers, après cinq

semaines d'un séjour continu dans la fabrique, allèrent passer le dimanche à quelques lieues de là dans leur famille, il y avait ce jour-là beaucoup d'Ozone dans l'air : le lundi ils revinrent tous affectés d'angine.

Le tableau statistique des maladies observées à Kœnigsberg, que nous avons donné plus haut, présente des résultats contraires, aussi M. Schifferdecker s'empresse-t-il de conclure qu'il n'y a aucun rapport entre les deux faits et que *la contenance ozonique n'exerce pas la moindre influence sur les maladies des organes respiratoires* (*Ouv. cit.*, pag. 26).

Nos recherches et surtout celles de M. Bœckel fils, sont en opposition complète avec ces assertions. Les rapports journaliers sur les malades entrant à l'hôpital militaire de Metz constatent, au contraire, une corrélation très-exacte entre les variations de la quantité d'Ozone et le nombre des irritations bronchiques sous des formes diverses. Il est cependant à noter que ce n'est pas le jour même où le papier ozonoscopique a donné un chiffre élevé que les malades entrent à l'hôpital, mais seulement le lendemain, ou plusieurs jours après ; ce qui s'explique par le temps d'incubation de la maladie ou par celui qu'elle a mis à faire des progrès exigeant les soins assidus des médecins de l'hôpital.

M. Bœckel fils a fait des recherches nombreuses et très-exactes. Il a pris les registres d'entrées de l'hôpital

civil de Strasbourg, afin d'opérer sur un grand nombre de malades; il en a extrait, mois par mois, et très-soigneusement, les différentes affections, en les classant en huit catégories, et il a dressé deux tableaux statistiques avec indication de l'Ozone et de la température.

Mais ne trouvant pas, dans cette statistique d'hôpital, la représentation des maladies légères, et encore moins une image fidèle des maladies régnantes dans la ville, il s'est borné, pour ses conclusions, aux maladies de poitrine traitées par son père, le docteur Th. Bœckel; il y a fait entrer les pneumonies, les pleurésies, les bronchites et angines, à l'exclusion des phthisies, dont l'invasion est trop incertaine. De cette façon il a obtenu des chiffres, moins considérables, il est vrai, mais d'une grande valeur, puisqu'ils ont été recueillis par une même personne sur un nombre à peu près constant de malades.

Il ressort de ce tableau les conclusions suivantes, données par l'auteur lui-même:

Que le nombre des maladies pulmonaires et des décès par ces maladies est *à la fois* en rapport direct avec l'Ozone et en rapport inverse avec la température;

Lorsqu'il y a beaucoup d'Ozone dans l'air et qu'en même temps la température est basse, le chiffre des affections pulmonaires est très-élevé et les décès, pour cette cause, sont nombreux;

Lorsqu'il y a peu d'Ozone dans l'air, et qu'en même

temps la température est élevée, le nombre des maladies de poitrine et des décès descend au plus bas;

Lorsqu'il y a beaucoup d'Ozone dans l'air et que la température est élevée, le nombre des maladies des voies respiratoires ne s'éloigne pas beaucoup de la moyenne, mais la mortalité la dépasse souvent;

Lorsqu'il y a peu d'Ozone dans l'air, mais que la température est basse, le nombre des maladies pulmonaires est près de la moyenne, souvent au-dessous, et le nombre des décès est beaucoup au-dessous de la moyenne;

Qu'il faut conclure des expériences, des observations et des résultats statistiques que, parmi les causes externes produisant des affections pulmonaires, l'Ozone joue le rôle principal dans notre climat; que celui de la température n'est que secondaire; mais que certains vents du nord-est sont plus pernicieux encore que l'Ozone (1).

Le développement des *affections rhumatismales* paraît avoir aussi des rapports directs avec la quantité d'Ozone atmosphérique, mais les chiffres sur lesquels on peut s'appuyer pour défendre cette opinion sont encore trop faibles pour être concluants.

Emploi de l'Ozone comme moyen thérapeutique.

Nous avons vu que l'Ozone est un stimulant actif de

(1) *Ouvr. cité*, pag. 62.

la vitalité des végétaux et des animaux et que, si ce corps vient à manquer, la vie est en souffrance. Cette observation nous conduit à penser qu'on obtiendrait des effets très-heureux de l'administration de l'Ozone aux personnes chlorotiques, scrophuleuses, anémiques, à toutes celles, en un mot, chez lesquelles la combustion normale, produite par l'air inspiré, se fait incomplètement et laisse prédominer les fluides lymphatiques.

Mais comment administrer cet agent actif? nous pensons qu'il peut être donné mêlé à l'air atmosphérique ou contenu dans l'eau.

Nous avons constaté que, dans les appartements clos, la présence de l'Ozone ne se révèle jamais à l'aide du papier réactif; et cependant, ce corps étant indispensable à l'accomplissement régulier des fonctions vitales, il serait désirable qu'on pût l'introduire dans l'air respiré. A l'état normal, l'air contient tout au plus 1/10,000 d'Ozone; il faut donc trouver le moyen de remplacer celui qui a été détruit.

Nous ne possédons pas encore d'appareil pouvant fonctionner avec régularité et sûreté, chose indispensable, puisque l'excès d'Ozone répandu dans l'air peut occasionner des maladies, et qu'il suffit de 1/2000 pour tuer de petits animaux.

Lorsque les conditions désirables auront été remplies, on arrivera à doser exactement la quantité d'Ozone et

à en varier les proportions selon l'effet qn'on se proposera d'obtenir. On peut prévoir que, dans un temps très-rapproché, on arrivera à faire inspirer l'Ozone comme on administre aujourd'hui le chlore, l'iode et l'ammoniaque. Il ne serait même pas impossible qu'on en vînt à créer des établissements où l'on entretiendrait pour des malades de certaines catégories, un air souvent renouvelé et constamment ozoné au degré thérapeutique.

Les difficultés actuelles de l'administration de l'Ozone mêlé à l'air dans des proportions convenables, nous ont fait penser à donner ce corps contenu dans l'eau.

Mais ici se présentaient plusieurs difficultés à résoudre : quelle quantité d'Ozone l'eau peut-elle dissoudre? L'oxygène se maintient-il longtemps à l'état d'Ozone lorsqu'il est dissous dans l'eau ? Puis venaient encore d'autres questions : faut-il employer l'air atmosphérique ozoné ou vaut-il mieux extraire de l'oxygène et le faire passer à l'état d'Ozone ?

Après de nombreuses recherches, nous avons constaté que l'Ozone se dissout, en proportions notables, mais encore indéterminées, dans l'eau ordinaire ; on s'en assure en plongeant, dans cette eau, un papier ozonoscopique qui bleuit rapidement ; mais le plus souvent, le lendemain ou le surlendemain de l'expérience, les réactions ozoniques ne se produisent plus sur le papier iodurė et amidonné; il est donc très-

probable que la désélectrisation de l'oxygène a lieu promptement dans l'eau.

Ajoutons que, dans l'état actuel de fabrication artificielle d'Ozone, il n'est pas facile de s'en procurer promptement une quantité assez considérable pour fournir aux besoins d'une industrie active : nous avons donc renoncé, quant à présent, à l'emploi thérapeutique de l'Ozone dissous dans l'eau.

Ces recherches nous ont fait entrevoir un autre moyen auquel nous croyons de la valeur: c'est l'usage médicamenteux de l'oxygène dans l'eau : quelques essais heureux nous donnent les plus grandes espérances et semblent nous promettre des succès importants.

Malgré l'usage fréquent de l'eau rendue gazeuse par l'acide carbonique, on ne paraît pas s'être occupé encore de l'eau oxygénée comme boisson médicamenteuse ; c'était une étude à faire, car il ne faut pas confondre l'eau oxygénée de Thénard, obtenue à l'aide du bioxyde de barium, avec l'eau oxygénée mécaniquement.

Comparativement à d'autres gaz, l'oxygène se dissout en petites proportions dans l'eau. Les recherches de Saussure jeune, ont démontré que 100 volumes d'eau dissolvent 106 volumes d'acide carbonique, et seulement 6,5 d'oxygène; encore n'est-ce pas une véritable dissolution, mais une simple pénétration mécanique du gaz dans les pores de l'eau.

Mais des expériences directes nous ayant appris aussi

que l'eau, mise en contact par sa surface avec des gaz comprimés, et pressée elle-même par eux, en absorbe le même volume que s'ils étaient soumis à la simple pression d'une seule atmosphère; il en résulte que le poids absorbé en devient proportionnellement plus fort. D'un autre côté la loi de Mariotte ayant constaté que la diminution de volume du gaz est proportionnelle à la pression, nous avons pu, en soumettant l'eau et l'oxygène à une pression de dix atmosphères dans un appareil à fabrication d'eau gazeuse, faire pénétrer 6,5 volumes d'oxygène comprimé dans cent volumes d'eau : ainsi un litre de notre eau oxygénée contenait environ 65 centilitres de gaz oxygène.

Nous nous sommes servi du chlorate de potasse pour obtenir notre gaz oxygène, mais on ferait mieux, pour une fabrication sur une grande échelle, d'adopter la préparation indiquée par M. Muller [1].

Il est indispensable, pour la fabrication de cette eau oxygénée, de se servir d'eau distillée récemment faite; sans cette précaution, on s'expose à des réactions qui détruisent le gaz. Il nous est arrivé, quelques jours après la mise en bouteille, de trouver plus d'acide carbonique que d'oxygène dans de l'eau provenant de la rivière, ce que nous expliquons par la combustion lente

(1) **Préparation sur une grande échelle, de l'oxygène obtenu par la décomposition de l'eau, par M. D. Muller.** (*Compt.-rend. de l'Acad.* 16 Avril 1855.)

des matières organiques végétales et animales contenues dans le liquide.

Cette eau oxygénée se conserve parfaitement ; la saveur en est agréable ; elle mousse moins que l'eau chargée d'acide carbonique ; elle conserve mieux son gaz, et celui-ci, en s'échappant, forme une foule de très-petites bulles arrondies, perlées, s'attachant aux parois du vase depuis la base jusqu'au sommet.

Quant aux propriétés thérapeutiques de l'eau oxygénée, elles sont faciles à indiquer. L'oxygène agit puissamment sur la fibrine et l'albumine ; mis en contact avec le sang noir, il le colore aussitôt et le vivifie de nouveau. L'administration de l'eau gazeuse est donc un moyen efficace, très-prompt et très-facile, d'exciter la vie chez les personnes lymphatiques, chlorotiques, chez toutes celles qui éprouvent les effets destructeurs d'une hématose incomplète.

L'oxygène est, dans l'organisme, l'agent des réactions les plus importantes, et la source des principaux phénomènes chimiques qui s'y accomplissent. C'est en détruisant les diverses substances avec lesquelles il est mis en contact, en les brûlant pour les divers besoins des fonctions nutritives et respiratoires, qu'il entretient la chaleur et la vie.

L'eau oxygénée active les fonctions de l'estomac, elle nous a paru favoriser la sécrétion des urines.

Nous l'avons administrée à la dose d'un demi-litre

par jour, pris en quatre parties égales; nous pensons, d'après des expériences faites sur nous-même, qu'on peut aller beaucoup au-delà, car il se perd toujours une quantité notable de gaz.

M. Schœnbein a cherché à introduire l'Ozone dans la thérapeutique en l'associant à l'huile de térébenthine. Ayant remarqué la propriété que possède cette huile d'absorber l'oxygène à la température ordinaire, et de donner naissance à une substance d'un pouvoir oxydant considérable, il a rempli, à moitié, des bouteilles en verre blanc, d'huile de térébenthine, les a exposées à l'influence de la lumière solaire, et a obtenu une huile chargée d'oxygène dont la saveur et l'odeur se rapprochent de celles de la menthe poivrée; quelques gouttes de cette huile, placées sur la langue, donnent une saveur amère et piquante à laquelle succède une sensation de fraîcheur.

Des expériences furent faites sur des animaux et sur l'homme par les professeurs Seitz, de Munich, et Fraas, directeur de l'école vétérinaire de la même ville. Les premiers essais eurent lieu sur des grenouilles. L'application de l'huile ozonée amena promptement la paralysie et la mort. De semblables expériences furent répétées sur des lapins : deux grammes et demi d'huile de térébenthine ozonée sont injectés dans l'œsophage de l'un d'eux; une minute après, la respiration s'accélère et devient pénible; des convulsions surviennent après dix

minutes; la mort arrive après vingt minutes d'un état comateux.

Chez un autre lapin, qui ne reçoit que 80 centigrammes d'huile, la paralysie survient après douze minutes, et la mort après douze heures.

L'huile de térébenthine pure et l'huile ozonée, données à doses de 30 à 180 grammes, dans les vingt-quatre heures, à des chevaux, ont été chassées de l'économie par la perspiration pulmonaire et les reins, dont la sécrétion est sensiblement augmentée; mais en portant les doses de une à plusieurs livres, ces huiles accélèrent la respiration, la circulation et les sécrétions de la sueur et de l'urine : des convulsions, des paralysies et le coma, sont les phénomènes ultimes qui arrivent plus tôt et plus énergiquement quand l'animal a pris l'huile ozonée.

Après ces expériences, le professeur Seitz et plusieurs de ses collègues prirent eux-mêmes, sur du sucre, de l'huile de térébenthine ozonée, à la dose de 5,10 et 15 gouttes: elle produisit sur la langue une sensation de froid et un léger picotement suivis d'un peu d'âpreté, elle augmenta faiblement la salivation, détermina un peu de chaleur à l'estomac, accéléra le pouls et accrut légèrement la chaleur de la peau.

Appliquée sur la peau, l'huile de térébenthine ozonée produit aussitôt une douleur vive comme une brûlure ; elle laisse de la rougeur et du gonflement dans le lieu

d'application ; cet état se prolonge durant une heure environ.

Le professeur Seitz a encore employé l'huile de térébenthine ozonée contre les catharres chroniques des voies urinaires, les incontinences d'urine et même les hématuries ; il déclare en avoir obtenu de bons résultats. Elle paraît avoir été très-utile contre les sciatiques chroniques, la goutte et le rhumatisme.

De nouvelles recherches sont évidemment nécessaires pour fixer avec plus d'exactitude les avantages ou les inconvénients de l'emploi thérapeutique de l'Ozone.

FIN.

ERRATA

Page 12. — *Ligne* 12.

Au lieu de : Nierordt, *lisez :* Vierordt.

Page 22. — *Ligne* 19.

Au lieu de : seulement l'Ozone, *lisez :* seulement la présence de l'Ozone.

Page 38. — *Ligne* 8.

Au lieu de : ferrocyanure de potassium, *lisez* . ferrocyanure de potassium jaune.

Page 40. — *Ligne* 12.

Au lieu de : 100 grammes d'eau distillée, *lisez :* 100 ou 200 grammes, etc.

Page 95. — *Ligne* 16.

Au lieu de : a calculé que 33 centimètres de surface aqueuse dégagent, etc., *lisez :* qu'une surface aqueuse carrée de 33 centimètres de côté dégage, etc.

Page 147. — Ligne 6.

Au lieu de: Lorsqu'on plonge une lame d'or ou de cuivre, etc., *lisez :* lorsqu'on plonge une lame de cuivre dans de l'acide azotique ordinaire, ce métal est attaqué aussitôt et détruit rapidement; il reste intact, au contraire, si l'acide est concentré, monohydraté, etc.,

Page 152. — Ligne 13.

Au lieu de: il se vaporise plus d'iodure d'amidon, *lisez:* il se décompose plus d'iodure d'amidon qu'il ne s'en forme.

A la fin du volume.

Tableau des observations faites par M. Bæckel, en 1855, *au lieu de:* tableau n° III, *lisez:* tableau n° V.

Même tableau.

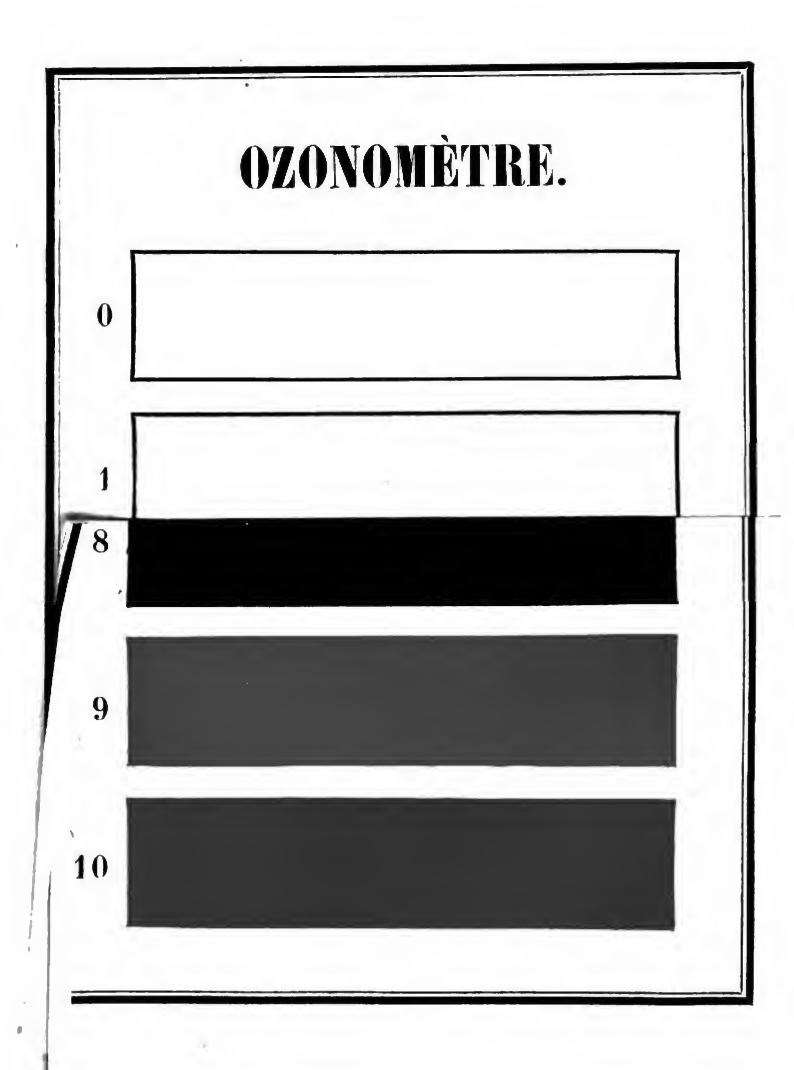
Deuxième et troisième colonne, *au lieu de* maximum et minimum, *lisez:* moyenne.

TABLE.

Pages



Metz. — Imp. M. ALCAN.


OZONOMÈTRE.
0
1
8
9
10

ÉTÉ

Du 23

Tableau n° I.



TÉ

s d

Tableau n° II.

TEMPÊTES.	M	MÉTÉORES.							PLUVIOMÈTRE.
		NEIGE.	GRÉSIL.	GELÉES BLANC.	GELÉES.	VERGLAS.	TONNERRE.	ÉCLAIRS.	mm.
2	7	3	»	8	24	1	»	»	046
1	7	13	»	3	23	»	»	»	030
»	7	1	»	3	15	»	»	»	011
1	7	»	»	3	1	»	2	1	059
»	7	»	»	»	»	»	2	3	098
1	7	»	»	»	»	»	4	3	152
»	7	»	»	»	»	»	4	4	094
»	7	»	»	»	»	»	5	4	051
»	7	»	»	»	»	»	»	»	008
3	7	»	»	2	1	»	»	»	083
2	7	7	»	2	11	»	»	»	076
4	7	8	»	1	7	»	»	»	112
4	7	32	»	22	82	1	17	15	820

UES DE

Bœckel.

Tableau n° III.

E.	HYG	MÉTÉORES.				PLUVIOMÈTRE.	TREMBLEMENT DE TERRE.
TEMPÉRATURE moyenne.	Maximum.	Neige.	Grêle.	Tonnerre.	Éclairs.	mm	
— 4,36	9	10	»	»	»	38,60	»
— 2,50	10	17	»	»	»	81,00	»
+ 4,67	9	7	»	1	»	41,56	»
+ 9,34	9	»	»	»	»	36,22	»
+ 13,90	9	»	2	3	»	69,20	»
+ 19,14	9	»	»	3	»	58,00	»
+ 20,18	9	»	»	»	»	175,28	1
+ 21,51	9	»	»	9	»	74,52	»
+ 15,83	9	»	»	»	»	15,16	»
+ 12,33	10	»	»	»	2	48,88	»
+ 2,60	10	2	»	»	»	32,88	»
— 2,63	10	12	»	»	»	22,52	»
+ 9,16	10	48	2	16	2	693,82	1

IQUES

. *Th. Bœcke*

Tableau n° IV.

MO	ERMOMÈTRE. MINIMUM.	TEM m	MÉTÉORES. Neige.	Grêle.	Tonnerre.	Comète.	PLUVIOMÈTRE.
							mm
Janvi	— 6,00	+ 9	2	»	»	»	31,08
Févri	— 14,00	— 7	14	»	»	»	36,08
Mars	— 2,50	+ 8	1	»	»	»	7,04
Avril	— 0,50	+ 1	3	»	1	1	37,12
Mai .	+ 8,00	+ 3	»	»	4	»	78,72
Juin.	+ 11,00	+ 7	»	1	5	»	159,12
Juille	+ 13,00	+ 1	»	»	6	»	133,24
Août	+ 11,00	+ 3	»	»	2	»	46,20
Septe	+ 5,00	+ 5	»	»	1	»	5,16
Octob	+ 1,50	+ 5	»	»	»	»	101,60
Noven	— 5,00	+ 8	6	»	»	»	67,64
Décen	— 4,00	— 5	7	»	»	»	76,28
Tot	— 6,00	2	33	1	19	1	801,28

